

JAMES
GLEICK

LA
INFORMACIÓN



HISTORIA Y REALIDAD



Vivimos en el mundo de la información y el conocimiento, pero, aunque manejamos cotidianamente móviles y ordenadores, no entendemos del todo lo que esto significa. En un libro ambicioso y apasionante, James Gleick comienza contándonos una historia que ha cambiado la naturaleza de la conciencia humana, desde los tambores africanos o la invención de la ordenación alfabética de las palabras hasta los avances más recientes de la tecnología informática. Examina después cómo se desarrollaron las ideas en que se ha basado este avance, llevándonos, dice el profesor Nunberg, «del demonio de Maxwell al teorema de Gödel, de los agujeros negros a los genes egoístas», explicando con claridad los más complejos principios, e ilustrándolos con las vidas de sus protagonistas, de Charles Babbage a Alan Turing o a Claude Shannon. Y concluye analizando lo que representa para nuestras vidas la agobiadora inundación de informaciones que nos rodea. Como ha dicho Josh Rothman, este es «un libro bellamente escrito y muy documentado que consigue sorprendernos continuamente».



James Gleick

La información: historia y realidad

ePub r1.0
koothrapali 25.06.13

Título original: *The Information: a History, a Theory, a Flood*

James Gleick, 2011

Traducción: Juan Rabasseda-Gascón & Teófilo de Lozoya

Diseño de portada: Jaime Fernández

Editor digital: koothrapali

ePub base r1.0

más libros en Bajaebooks.com

Para Cynthia

En cualquier caso, aquellos billetes, los viejos, no te decían hacia dónde te dirigías, y mucho menos desde dónde venías. Tampoco recordaba haber visto en ellos fecha alguna, y, por supuesto, no se indicaba ninguna hora. Ni que decir tiene que ahora todo es distinto. Toda esta información. Y Archie se preguntaba por qué esto es así.

ZADIE SMITH

Lo que llamamos pasado está construido por retazos.

JOHN ARCHIBALD WHEELER

PRÓLOGO

El problema fundamental de la comunicación es el de la reproducción exacta o aproximada en un determinado punto de un mensaje elegido en otro punto. Con frecuencia los mensajes tienen significado.

CLAUDE SHANNON (1948)

A partir de 1948, el año crucial, la gente comenzó a creer que podía ver cuál era el verdadero objetivo que inspiraba la obra de Claude Shannon, pero no era más que una percepción desde la retrospectiva. Él lo veía de manera distinta: Mi mente vaga errante, y noche y día no dejo de concebir cosas diversas. Como un escritor de ciencia ficción, me pregunto, «¿Y si fuera así?»^[P.1]

Como sabemos, 1948 fue al año en el que Bell Telephone Laboratories anunció la invención de un minúsculo semiconductor electrónico, «un aparato sorprendentemente sencillo» que podía hacer todas las funciones de una válvula de vacío, pero con más eficacia. Era esquirola cristalina, tan pequeña que podían sostenerse más de cien de ellas en la palma de la mano. En mayo, varios científicos constituyeron un comité para darle nombre, y dicho comité entregó a los ingenieros jefe en Murray Hill, Nueva Jersey, las papeletas con sus diversas propuestas: *tríodo semiconductor... iotatrón... transistor* (un híbrido de *varistor* y *transconductancia*).^[P.2] Ganó transistor. «Puede tener una importancia prácticamente ilimitada en el mundo de la electrónica y de la comunicación eléctrica», declaró Bell Labs en una conferencia de prensa, y, por una vez, la realidad superó las previsiones del bombo publicitario. El transistor supuso una verdadera revolución en el campo de la electrónica, abriendo el camino de la tecnología hacia la miniaturización y la omnipresencia, y en poco tiempo supuso para sus tres principales inventores la concesión del Premio Nobel. Para el

laboratorio constituía la joya de la corona. Pero, en realidad, solo sería la segunda novedad más importante de aquel año. El transistor no era más que un soporte.

Un invento mucho más relevante y fundamental apareció en una monografía de setenta y nueve páginas de *The Bell System Technological Journal* de julio y octubre. Nadie se preocupó de organizar una conferencia de prensa por ello. El artículo tenía un título sencillo, pero grandilocuente, «A Mathematical Theory of Communication» («Una teoría matemática de la comunicación»), y su mensaje resultaba difícil de resumir. Pero constituyó un eje alrededor del cual comenzó a girar el mundo. Al igual que el transistor, esta innovación tuvo su propio neologismo: el término bit, elegido, en este caso, no por un comité de expertos, sino por el propio autor del trabajo, un hombre de treinta y dos años llamado Claude Shannon. A partir de ese momento, el bit se uniría al centímetro, al kilogramo, al litro y al minuto como una cantidad determinada, como una unidad de medida fundamental en la vida cotidiana.

Pero ¿qué medía? «Una unidad para medir información», escribía Shannon, como si hubiera tal cosa, esto es, como si hubiera una información medible y cuantificable.

Shannon formaba parte supuestamente del equipo de investigaciones matemáticas de Bell Labs, pero solía seguir una línea independiente.^[P.3] Cuando este equipo dejó la central de Nueva York por unas nuevas instalaciones en las afueras de Nueva Jersey, él no se unió al grupo y prefirió quedarse en un chiribitil del viejo edificio, una construcción de ladrillo rojo de doce pisos de altura de West Street, situada en una zona industrial entre el río Hudson y Greenwich Village. No le gustaba tener que desplazarse todos los días lejos para llegar al puesto de trabajo, y le encantaba el vecindario de aquella zona de Nueva York, donde podía escuchar a los clarinetistas de jazz en clubs que cerraban a altas horas de la madrugada. Además, coqueteaba tímidamente con una joven que trabajaba en el grupo de investigación de microondas de Bell Labs en la antigua fábrica Nabisco de dos pisos que se encontraba al otro lado de la calle. La gente lo consideraba un tipo encantador. Tras doctorarse en el MIT, había comenzado a trabajar en el departamento de guerra de los laboratorios, primero desarrollando un calculador automático para el sistema de control de tiro de las baterías antiaéreas, y más tarde centrándose en los pilares teóricos de

los sistemas secretos de comunicación —criptografía— y en la elaboración de una prueba matemática de la seguridad del llamado Sistema X, la línea del teléfono rojo con el que se comunicaban Winston Churchill y el presidente Roosevelt. Por lo que en aquellos momentos sus directores estaban dispuestos a dejarlo hacer, aunque no entendieran exactamente en qué diablos estaba trabajando.

A mediados del pasado siglo, AT&T no exigía unos resultados gratificantes inmediatos a su división de investigación. Permitía que se desviara de sus objetivos, realizando incursiones en el campo de las matemáticas o de la astrofísica aparentemente sin fines comerciales. En cualquier caso, toda aquella ciencia moderna estaba relacionada, directa o indirectamente, con la misión de la compañía, que era enorme, monopolista y abarcaba casi todos los campos. Sin embargo, a pesar de su envergadura, puede decirse que la compañía telefónica había dejado de lado la razón de su existencia. En 1948, más de ciento veinticinco millones de conversaciones pasaban diariamente por los más de doscientos veinte millones de kilómetros de cable y por los treinta y un millones de aparatos telefónicos de Bell System.^[P.4] La Oficina del Censo informaba de estos hechos bajo la rúbrica de «Comunicaciones en los Estados Unidos», pero no eran más que unos simples cálculos de comunicación. El censo también hizo un cálculo de varios miles de emisoras para radio y de unas cuantas decenas para televisión, además de periódicos, libros, panfletos y envíos postales. La oficina de correos contó sus cartas y paquetes, pero ¿qué se contaba, y en qué unidades, en la parte correspondiente a Bell System? No eran *conversaciones*, evidentemente; tampoco *palabras*, y mucho menos *caracteres*. Tal vez fuera simplemente electricidad. Los ingenieros de la compañía eran ingenieros eléctricos. Todo el mundo entendía que la electricidad servía para sustituir el sonido, el sonido de la voz humana, ondas en el aire que entraban en el micrófono del teléfono y se convertían en formas de onda eléctricas. Esta transformación constituía la esencia del avance del teléfono por delante del telégrafo, la tecnología que lo había precedido y que ya parecía muy desfasada. La telegrafía se basaba en un tipo de transformación bien distinto: un código de puntos y rayas que representaban letras del alfabeto; las letras representaban sonidos que, al combinarse, formaban palabras; y las palabras representaban un sustrato final con significado, aunque tal vez sea mejor que esto lo dejemos a los

filósofos.

La Bell System no tenía ni una cosa ni la otra, pero había contratado a su primer matemático en 1897: George Campbell, natural de Minnesota, que había cursado estudios en Gotinga y en Viena. Campbell afrontó inmediatamente un problema gravísimo de los primeros sistemas de transmisión telefónica. Las señales se distorsionaban cuando pasaban por los circuitos; cuanto mayor era la distancia, más era la distorsión. Campbell encontró la solución recurriendo en parte a las matemáticas y en parte a sus conocimientos de ingeniería eléctrica. [P.5] Sus jefes aprendieron a no preocuparse mucho por cómo lo hizo. El propio Shannon, en su época de estudiante, siempre había dudado entre ser ingeniero o matemático. Para Bell Labs era las dos cosas, por gusto o por fuerza, un individuo muy experto en circuitos y relés, pero que se sentía feliz en el reino de la abstracción simbólica. La mayoría de los ingenieros de telecomunicaciones dedicaban buena parte de su experiencia a solventar problemas físicos, a la amplificación y a la modulación, a la distorsión de fase y a la degradación que se producía entre señal y sonido. A Shannon le gustaban los juegos y los rompecabezas. Desde niño, cuando leía a Edgar Allan Poe, se había sentido hechizado por los códigos secretos. Como una urraca, hacía cúmulo de información. Como ayudante de investigación de primer año en el MIT, trabajó en una proto-computadora de cien toneladas, el Analizador Diferencial de Vannebar Bush, que podía resolver ecuaciones utilizando unos enormes mecanismos de ruedas y discos. A los veintidós años escribió una disertación que aplicaba una idea del siglo XIX, el álgebra de la lógica de George Boole, al diseño de circuitos eléctricos. (Lógica y electricidad, una curiosa combinación). Más tarde trabajó con Hermann Weyl, matemático y experto en lógica que le enseñó lo que era una teoría: «Las teorías permiten a la conciencia “saltar por encima de su propia sombra”, dejar atrás lo que se da por descontado, representar lo trascendente, pero, como es evidente, solo en símbolos». [P.6]

En 1943 el matemático y descodificador inglés Alan Turing visitó Bell Labs en una misión criptográfica, y pudo reunirse varias veces con Shannon durante el almuerzo e intercambiar con él conjeturas sobre el futuro de las máquinas inteligentes. («¡Shannon no solo quiere introducir datos en un Cerebro, sino también cosas culturales!», exclamaría Turing. «¡Quiere que toque música!») [P.7] Shannon también se cruzó en su camino con Norbert Wiener, de quien había

recibido clases en el MIT, y que en 1948 proponía una nueva disciplina que se llamaría «cibernética», el estudio de la comunicación y el control. Por su parte, Shannon comenzó a mostrar un interés especial por las señales de televisión, desde un curioso punto de vista: se preguntaba si su contenido podía compactarse o comprimirse para permitir una transmisión más rápida. La lógica y los circuitos se cruzaron para generar un nuevo híbrido; lo mismo ocurrió con los códigos y los genes. A su manera, en su búsqueda solitaria de una estructura en la que entrelazar sus múltiples conocimientos, Shannon empezó a ensamblar una teoría de la información.

Las materias primas estaban esparcidas por todas partes, emitiendo luces y llamadas en el paisaje de comienzos del siglo XX, cartas y mensajes, sonidos e imágenes, novedades e instrucciones, figuras y hechos, señales y signos: un batiburrillo de especies relacionadas unas con otras. Estaban moviéndose, por correo, por cable o por ondas electromagnéticas. Pero no había ningún término para indicar todo esto. «A ratos», escribió Shannon en 1939 a Vannevar Bush cuando este estaba en el MIT, «he trabajado en un análisis de algunas propiedades fundamentales de los sistemas generales de transmisión de inteligencia».^[P.8] *Inteligencia*: era un término sumamente flexible y muy antiguo. «Hoy se utiliza como una palabra elegante allí donde hay tratados y citas comunes, bien en cartas, bien en mensajes.»^[P.9] Sin embargo, había adoptado otros significados. Unos cuantos ingenieros, especialmente en los laboratorios de investigación de telefonía, comenzaron a hablar de *información*. Utilizaban este término de una manera que indicaba algo técnico: cantidad de información, o cálculo de información. Shannon adoptó esta costumbre.

Para los objetivos de la ciencia, *información* tenía que significar algo especial. Tres siglos antes, una nueva disciplina, la física, no pudo avanzar hasta que Isaac Newton se apropió de unos términos que eran antiguos y vagos —*fuerza, masa, movimiento* e incluso *tiempo*— y les dio un nuevo significado. Los convirtió en cantidades, en términos adecuados para ser utilizados en fórmulas matemáticas. Hasta entonces, *movimiento* (por ejemplo) no había sido más que un término blando e inclusivo, como *información*. Para los aristotélicos, el movimiento abarcaba una extensa familia de fenómenos: un melocotón

madurando, una piedra cayendo, un niño creciendo, un cuerpo degenerando. Era un concepto excesivamente rico. Hubo que descartar la mayoría de las distintas variedades de movimiento antes de poder aplicar las leyes de Newton y lograr el triunfo de Revolución Científica. En el siglo XIX, la palabra *energía* comenzó a experimentar una transformación similar: los filósofos naturales adaptaron un término que significaba vigor o intensidad. Lo matematizaron, dando al término *energía* su lugar fundamental en la visión de la naturaleza de los físicos.

Lo mismo ocurrió con información. Fue necesario realizar un rito de purificación.

Y luego, cuando fue simplificado, destilado y contado en bits, el término *información* comenzó a aparecer por todas partes. La teoría de Shannon tendió un puente entre información e incerteza; entre información y entropía; entre información y caos. Condujo a los compact discs y a los aparatos de fax, a las computadoras y al ciberespacio, a la ley de Moore y a todos los Silicon Alleys del mundo. Nació el procesamiento de información, junto con el almacenamiento de información y la recuperación de información. La gente empezó a nombrar a un sucesor de la Edad de Hierro y de la Era del Vapor. «El hombre que almacena alimentos reaparece incongruentemente como hombre que almacena información», señalaba Marshall McLuhan en 1967.^[P.10] Escribió estas palabras con un poquito de antelación, en los albores del mundo de las computadoras y del ciberespacio.

Hoy día podemos comprobar que la información es por donde discurre nuestro mundo: es la sangre y la savia, el principio vital. Impregna de arriba abajo las ciencias, transformando todas las ramas del conocimiento. La teoría de la información empezó como un puente que llevaba de las matemáticas a la ingeniería eléctrica, y de allí a la informática. Lo que los angloparlantes llaman *computer science*, en Europa los franceses lo denominan *informatique*, los italianos *informatica*, los alemanes *Informatik* y los españoles «informática». En la actualidad, incluso la biología se ha convertido en una ciencia de la información, una materia con mensajes, instrucciones y códigos. Los genes encapsulan información y posibilitan procedimientos para su lectura y su transcripción. La vida se expande a través de conexiones de redes. El mismísimo cuerpo es un procesador de información. La memoria no solo se encuentra en el cerebro, sino también en cada una de las células. No es por casualidad que la

genética floreciera como ciencia de la mano de la teoría de la información. El DNA es la molécula de información vital, el procesador de mensajes más avanzado en el ámbito celular: un alfabeto y un código, seis mil millones de bits para formar un ser humano. «Lo que hay en el corazón de cualquier ser viviente no es fuego, ni aliento cálido, ni “chispas de vida”», proclama Richard Dawkins, especialista en teoría de la evolución. «Es información, son palabras, instrucciones. ... Si queréis entender la vida, no penséis en sustancias gelatinosas y masas de materia palpitantes y vibrantes, pensad en la tecnología de la información.»^[P.11] Las células de un organismo son nodos de una red de comunicaciones sumamente intrincada, que transmiten y reciben, que codifican y descodifican. La propia evolución encarna un intercambio continuo de información entre organismo y entorno.

«El círculo de la información se convierte en la unidad de vida», dice Werner Loewenstein, después de pasar treinta años estudiando comunicación intercelular.^[P.12] Nos recuerda que ahora *información* tiene un significado más profundo: «Connota un principio cósmico de organización y orden, y ofrece una medida precisa de ello». El gen también tiene su análogo cultural: el meme. En las doctrinas de la evolución cultural, un meme es un «replicador» y un propagador: una idea, una moda, una cadena de mensajes o una teoría de la conspiración. En un mal día, un meme es un virus.

La misma economía se reconoce como una ciencia de la información, ahora que el dinero está completando una curva de desarrollo de materia a bits, almacenados en la memoria de un ordenador y en bandas magnéticas, y las finanzas del mundo están fluyendo por un sistema nervioso global. Incluso cuando parecía que era un tesoro material, y pesaba en los bolsillos y llenaba las bodegas de los buques y las cajas fuertes de los bancos, el dinero no dejaba de ser información. Monedas y billetes, siclos y cauris, no eran más que tecnologías de breve duración para representar información acerca de quién posee qué.

¿Y qué decir de los átomos? La materia tiene un sistema de acuñación propio, y la más difícil de todas las ciencias, la física, pareció alcanzar la madurez. Sin embargo, también la física se ve golpeada de refilón por un nuevo modelo intelectual. En los años siguientes a la segunda guerra mundial, momento de apogeo de los físicos, las grandes novedades científicas fueron, por lo visto, la división del átomo y el control de la energía nuclear. Los teóricos

centraron su prestigio y sus recursos en el estudio de partículas fundamentales y de las leyes que gobernaban su interacción, en la construcción de enormes aceleradores y en el descubrimiento de quarks y gluones. Desde esta elevada empresa, la investigación de las comunicaciones no podía verse más abandonada. En Bell Labs, Claude Shannon no pensaba en la física. Los físicos especializados en partículas no necesitaban bits.

Pero luego, de repente, los necesitaron. Cada vez más, los físicos y los teóricos de la información son una misma cosa. El bit es una partícula fundamental de una especie diversa: no es solo diminuto, sino también abstracto (un dígito binario, un biestable, un «sí o no»). Es insustancial, aunque cuando los científicos por fin comprenden la información, se preguntan si es tal vez primario: más fundamental que la mismísima materia. Sugieren que el bit es el núcleo irreducible, y que la información constituye el mismísimo centro de la existencia. Tendiendo puentes entre la física del siglo XX y la del siglo XXI, John Archibald Wheeler, el último colaborador que quedaba de Einstein y Bohr, fallecido en 2008, expresaba este manifiesto prácticamente en monosílabos oraculares: «*It from Bit*». Esto es, que de los bits, de la información, «sale cada “eso”, cada partícula, cada campo de fuerza» que pueda haber en el mundo, sale «incluso el propio continuo espacio-temporal».^[P.13] Se trata de una manera distinta de desentrañar la paradoja del observador: que el resultado de un experimento se ve afectado, o incluso determinado, por la misma observación. El observador no solo observa, sino que también formula preguntas y hace afirmaciones que en último término deben ser expresadas en discretos bits. «Lo que llamamos realidad», decía Wheeler entre evasivas, «surge en el último análisis tras la formulación de cuestiones de sí o no». Y añadía: «Todas las cosas físicas son informativo-teoréticas en origen, y este es un universo participativo». Así pues, todo el universo es considerado un computador, una máquina cósmica que procesa información.

Para resolver todo este enigma resulta clave un tipo de relación no contemplada por la física clásica: el fenómeno conocido como entrelazamiento. Cuando las partículas, o sistemas cuánticos, están entrelazadas, en sus propiedades se observan correlaciones que trascienden el espacio y el tiempo. A distancia de años luz, comparten algo que es físico, pero no solo físico. Surgen escalofriantes paradojas, inextricables hasta que se comprende cómo el

entrelazamiento codifica información, medida en bits o en su homólogo cuántico llamado graciosamente «qubit». Cuando fotones y electrones y otras partículas interactúan, ¿qué hacen realmente? Intercambiar bits, transmitir estados cuánticos, procesar información. Las leyes de la física son los algoritmos. Todas las estrellas candentes, todas las nebulosas silenciosas, todas las partículas que dejan su fantasmagórica estela en una cámara de niebla son unos procesadores de información. El universo computa su propio destino.

¿Cuánto computa? ¿Con qué rapidez? ¿Cuál es su capacidad total de información? ¿Cuánto espacio de memoria tiene? ¿Qué vínculo hay entre energía e información? ¿Qué coste energético supone la emisión de un bit? Son preguntas difíciles de contestar, pero no son tan místicas o metafóricas como pueda parecer. Juntos, los físicos y los teóricos de la información cuántica, una raza nueva, se enfrentan a ellas. Hacen sus cálculos matemáticos e intentan darles respuesta. («Se calcule como se calcule, el número de bits del cosmos es diez elevado a una gran potencia», según Wheeler.^[P.14] En opinión de Seth Lloyd: «No hay más de 10^{120} operaciones en 10^{90} bits»^[P.15] Revisan los misterios de la entropía termodinámica y los célebres engullidores de información, los agujeros negros. «El día de mañana», decía Wheeler, «habremos aprendido a comprender y a expresar toda la física en el lenguaje de la información»^[P.16]

A medida que adquiere cada vez mayor protagonismo, más allá de lo que nadie habría podido imaginar, la información va aumentando y convirtiéndose en excesiva. «Demasiada información», dice hoy día la gente. Ante tanta información, mostramos signos de agotamiento, ansiedad y saturación. Hemos conocido al Demonio de la Sobrecarga Informativa y a sus malvados servidores, el virus informático, la señal de ocupado, los enlaces o vínculos rotos y los programas de presentación. Todo ello, en cierto sentido, también gracias a Shannon. Las cosas cambiaron muy rápidamente. John Robinson Pierce (el ingeniero de Bell Labs que se había inventado el término «*transistor*») reflexionaría más tarde: «Cuesta imaginar el mundo antes de Shannon como lo veían los que vivían en él. Resulta difícil recuperar la inocencia, la ignorancia y el desconocimiento»^[P.17]

Pero el pasado regresa al centro de atención. «En el principio era el verbo», dice Juan. Nosotros somos la especie que se denominó *homo sapiens*, el que sabe, y más tarde, tras reflexionar, lo corrigió, proclamándose *homo sapiens sapiens*. El gran regalo de Prometeo a la humanidad no fue, después de todo, el fuego: «También el número, destacada invención, descubrí para ellos, y la combinación de las letras en la escritura, donde se encierra la memoria de todo, artesana que es madre de las Musas».^[P.18] El alfabeto fue un pilar de la tecnología de la información. El teléfono, el aparato de fax, el computador y, en último término, el ordenador son simplemente las novedades más recientes concebidas para almacenar, manipular y comunicar conocimientos. Nuestra cultura ha absorbido un vocabulario funcional para estas útiles invenciones. Hablamos de compresión de datos, sabiendo perfectamente que es bien distinto de compresión de gases. Entendemos lo que es flujo continuo, análisis, clasificación y filtrado de información. Nuestro mobiliario incluye iPods y pantallas de plasma, tenemos conocimientos de redacción de mensajes por SMS y sabemos hacer búsquedas por Internet, estamos preparados para ello, somos expertos, de modo que vemos la información en primer plano. Pero lo cierto es que siempre ha estado allí. Se difundió también por el mundo de nuestros antepasados, adoptando formas sólidas o etéreas, convertida en lápidas de granito o en cuchicheos de cortesanos. La tarjeta perforada, la caja registradora, la decimonónica máquina diferencial, los cables de telégrafo: todos ellos desempeñaron su papel en la trama de la telaraña de información de la que estamos suspendidos. En su momento, cada tecnología nueva de información supuso un paso adelante en materia de almacenamiento y transmisión. De la imprenta surgieron nuevas maneras de clasificar información: diccionarios, enciclopedias, almanaques, esto es, compendios de palabras, organizadores de hechos y acontecimientos, árboles de conocimientos. Difícilmente una tecnología de la información se vuelve obsoleta. Las nuevas van poniendo de relieve a sus predecesoras. Así es cómo Thomas Hobbes, en el siglo XVII, resistía al nuevo circo mediático de su época: «La invención de la imprenta, aunque ingeniosa, no es nada comparada con la invención de las letras».^[P.19] Hasta cierto punto, tenía razón. Cada medio de comunicación nuevo transforma la naturaleza del pensamiento humano. Al final, la historia no es más que el relato de la información que va adquiriendo consciencia de sí misma.

Algunas tecnologías de la información fueron valoradas en su propia época, pero otras no. Entre las que no fueron comprendidas destacan los tambores parlantes de África.

TAMBORES QUE HABLAN

(Cuando un código no es un código)

Por todo el Continente Negro suenan los tambores que nunca callan:

Base de toda música, foco de toda danza;

Tambores parlantes, radiotelégrafo de la jungla inexplorada.^[1.1]

IRMA WASSALL (1943)

Nadie hablaba de manera sencilla a través de los tambores. Los hombres que tocaban los tambores no dirían nunca: «Vuelve a casa», sino

Haz que tus pies vuelvan por el camino que siguieron,
Haz que tus piernas vuelvan por el camino que siguieron.
Planta tus pies y tus piernas
En el poblado que nos pertenece.^[1.2]

No podían decir «cadáver» sin más, sino que darían al concepto una formulación más elaborada: «Lo que yace sobre su espalda encima de la tierra». En vez de «No tengas miedo», habrían dicho: «Vuélvete a meter el corazón por la boca, el corazón por la boca, vuélvete a meter por ahí». Los tambores generaron manantiales de oratoria. Esta parecía poco eficaz. ¿Era grandilocuencia o rimbombancia? ¿U otra cosa?

Durante mucho tiempo los europeos del África subsahariana no tuvieron ni idea. En realidad no tenían ni idea de que los tambores transmitieran ningún tipo de información. En sus culturas un tambor podía ser en ciertos casos especiales

un instrumento apto para hacer señales, junto con el clarín y la campana, usados para transmitir una pequeña serie de mensajes: «¡Al ataque!»; «¡Retirada!», «¡Venid a la iglesia!». Pero no podían concebir que hubiera tambores parlantes. En 1730 Francis Moore remontó el río Gambia hacia el este, descubriendo que era navegable a lo largo de casi diez kilómetros, y admirando de paso la belleza del país y maravillas tales como las «ostras que crecen en árboles» (mangles).^[1.3] No es que fuera un gran naturalista. Se dedicaba a hacer labores de reconocimiento como agente de los esclavistas ingleses en unos reinos habitados, a su entender, por distintas razas de negros o pueblos de color cobrizo, «como los mandingas, diolas, fulas, fulbés y portugueses». Cuando encontró a unos hombres y mujeres que llevaban tambores de madera tallada y de una longitud de un metro, que iban estrechándose desde la punta hasta el pie, se dio cuenta de que las mujeres bailaban enérgicamente al son de su música, y vio que a veces los tambores eran «golpeados cuando se aproximaba algún enemigo», y por último que, «en ciertas ocasiones extraordinarias», los tambores servían para pedir ayuda a los poblados vecinos. Pero eso fue todo lo que le llamó la atención.

Un siglo después, el capitán William Allen, en una expedición al río Níger,^(1.i) hizo otro descubrimiento simplemente fijándose en su piloto camerunés, al que llamaba Glasgow. Se encontraban en la cabina de su vapor de ruedas cuando, según recordaba Allen:

De repente se abstraigo por completo y permaneció un rato en actitud de escucha. Al verse reprendido por su falta de atención, dijo: «¿Vosotros no oír hablar a mi hijo?». Como no habíamos oído ninguna voz, le preguntamos cómo lo sabía. Y respondió: «Tambor hablarme, decirme sube a cubierta». Nos pareció muy curioso.^[1.4]

El escepticismo del capitán dio paso al asombro, cuando Glasgow le convenció de que cada poblado tenía sus «instalaciones de correo musical». Por mucho trabajo que le costara creerlo, el capitán aceptó por fin que pudieran transmitirse a lo largo de varios kilómetros de distancia mensajes detallados compuestos de múltiples frases. «A menudo nos sorprende», escribía, «comprobar cómo el sonido de la trompeta es tan bien entendido en nuestras evoluciones militares; pero qué lejos queda eso del resultado alcanzado por estos

salvajes indoctos». Ese mismo resultado era una tecnología ansiosamente buscada en Europa: la comunicación a larga distancia más rápida que cualquier correo a pie o a lomos de caballo. A través del sereno aire nocturno que se cernía sobre el río, el ruido del tambor podía oírse a diez o doce kilómetros de distancia. Transmitidos de poblado en poblado, los mensajes podían propagarse en un radio de ciento cincuenta kilómetros en cuestión de una hora.

El anuncio de un nacimiento en Bolenge, un poblado del Congo Belga, decía:

Batoko fala fala, tokema bolo bolo, boseka woliana imaki tonkilingonda, alenda bobila wa fole fole, asokoka l'isika koke koke.

Las esteras están enrolladas, nos sentimos fuertes, una mujer salió de la selva, está en el poblado a la vista de todos, con eso basta de momento.

Un misionero, Roger T. Clarke, transcribió la siguiente invitación al funeral de un pescador:^[1.5]

La nkesa laa mpombolo, tofolange benteke biesala, tolanga bonteke bolokolo bole nda elinga l'enjale baenga, basaki l'okala bopele pele. Bojende bosalaki lifeta Bolenge wa kala kala, tekendake tonkilingonda, tekendake beningo la nkaka elinga l'enjale. Tolanga bonteke bolokolo bole nda elinga l'enjale, la nkesa la mpombolo.

Por la mañana, al amanecer, no queremos aglomeraciones para ir a trabajar, queremos una reunión para jugar en el río. Hombres que vivís en Bolenge, no vayáis a la selva, no vayáis a pescar. Queremos una reunión para jugar en el río, por la mañana al amanecer.

Clarke se fijó en varios detalles. Aunque solo unos pocos aprendían a comunicarse mediante los tambores, casi todo el mundo podía entender los mensajes del tam-tam. Unos lo tocaban rápidamente y otros más despacio. Podían aparecer una y otra vez frases hechas, prácticamente inalterables, pero los distintos individuos que tocaban los tambores podían enviar el mismo mensaje con distintas formulaciones. Clarke decidió que el lenguaje de los tambores era formular y fluido a la vez. Llegó a la conclusión de que «las

señales representan los tonos de las sílabas de frases convencionales de un carácter tradicional y sumamente poético», y así era, en efecto, pero él no fue capaz de dar el paso definitivo para entender por qué.

Aquellos europeos hablaban de «la mentalidad nativa» y calificaban a los africanos de «primitivos» y «animistas», pero de todos modos llegaron a darse cuenta de que habían logrado hacer realidad un sueño muy antiguo de cualquier cultura humana. Estaban ante un sistema de transmisión de mensajes que superaba a los mejores correos, a los caballos más veloces en los que se basan las buenas redes viarias provistas de postas y apeaderos. Los sistemas de mensajería por tierra, basados en recorrer el camino a pie, resultaban siempre decepcionantes. Los ejércitos que los empleaban podían adelantarse a ellos. Julio César, por ejemplo, «llegó muchas veces a su destino antes de que lo hicieran los mensajeros enviados a anunciar su venida», como decía Suetonio en el siglo I. [1.6] Pero los antiguos no carecían de recursos. Los griegos ya usaban fuegos a modo de faros en tiempos de la Guerra de Troya, en el siglo XII a. e. c., según todas las fuentes, esto es Homero, Virgilio y Esquilo. Una hoguera en lo alto de una montaña podía ser vista por vigías apostados en atalayas a más de treinta kilómetros de distancia, y en casos especiales incluso más lejos. Según la versión que ofrece Esquilo, Clitemnestra recibe la noticia de la caída de Troya, situada a más de seiscientos kilómetros de Micenas, la misma noche en que se produjo. «¿Y quién podría llegar a anunciarlo tan pronto?», pregunta con escepticismo el coro. [1.7]

La reina atribuye el mérito a Hefesto, dios del fuego: «Enviando un brillante fulgor... Desde el primer fuego que dio la noticia, cada hoguera fue enviando otra hoguera hasta aquí». No es baladí la hazaña, y Esquilo hace que Clitemnestra siga hablando varios minutos y especificando todos los detalles de la ruta: los brillantes destellos partieron del monte Ida, recorrieron la costa septentrional del Egeo hasta la isla de Lemnos; desde allí pasaron al monte Athos en Macedonia; y luego prosiguieron hacia el sur por lagos y llanuras hasta Macisto. La señal llegó a los centinelas del Mesapio, que «la vieron desde las corrientes del Euripo. Estos encendieron, a su vez, otra hoguera, para que la señal siguiera su camino, prendiéndole fuego a un montón de brezo ya seco». La vigorosa llama llegó así al Citerón, al Agiplanto y al puesto de observación más próximo a la ciudad, el Aracneo. «Tales eran mis instrucciones a los portadores

de antorchas: relevándose unos a otros, vencen en esta carrera el primero y el último». Un historiador alemán, Richard Hennig, rastreó la ruta y la midió en 1908, confirmando que una cadena de hogueras semejante era perfectamente factible.^[1.8] Naturalmente el significado del mensaje tenía que haber sido fijado de antemano, condensado de hecho en un solo contenido. Una oposición binaria, algo o nada: la señal del fuego significaba algo, algo que, esta vez, quería decir en concreto: «Troya ha caído». Transmitir ese único contenido requería una enorme dosis de planificación, trabajo, atención y leña. Muchos años después, los fanales de la Old North Church harían llegar también a Paul Revere un solo mensaje valiosísimo, que luego él se encargaría de seguir transmitiendo; otra vez una oposición binaria: o por tierra o por mar.

Mayor capacidad se requería para las ocasiones menos extraordinarias. Los hombres probaron con banderas, cuernos, señales intermitentes de humo y destellos de luz con espejos. Conjuraron espíritus y ángeles con el fin de enviar mensajes (los ángeles son, por definición, los mensajeros divinos). El descubrimiento del magnetismo supuso el cumplimiento de determinadas promesas. En un mundo inundado ya de magia, los imanes personificaban los poderes ocultos. La piedra imán atrae al hierro. Este poder de atracción se extiende de manera invisible por el aire. Ni siquiera lo interrumpen el agua o los cuerpos sólidos. Un imán sostenido en un extremo de la pared puede mover un pedazo de hierro al otro extremo de la misma. Lo más curioso es que la energía magnética parece capaz de coordinar objetos situados a una distancia enorme, de un extremo a otro de la tierra: nos referimos en concreto a las agujas de la brújula. ¿Qué pasaría si una aguja pudiera controlar a otra? Esta idea —una mera «presunción», según decía Thomas Browne a finales de la década de 1640— se propagó

susurrada a lo largo y ancho del mundo con cierta atención, a crédulos y vulgares oyentes dispuestos a creérsela, y a mentes más juiciosas y distinguidas que no la rechazaban por completo. Semejante presunción es excelente, y si se hiciera realidad, cabría decir que divina; de ese modo podríamos comunicarnos como espíritus y conversar desde la tierra con Menipo en la Luna.^[1.9]

La idea de las agujas «simpáticas» apareció doquiera que hubiese filósofos naturales y estafadores. En Italia un hombre intentó vender a Galileo «un método

secreto de poder hablar con alguien que estuviera a dos o tres mil millas de distancia». [1.10]

Y diciéndole yo que de buena gana se lo habría comprado, pero que primero deseaba hacer un experimento con ella, y que para eso me bastaba permanecer yo en una de mis estancias y él en otra, me respondió que a tan corta distancia no podía verse bien su efecto, así que lo despedí diciéndole que de momento no tenía ganas de irme a El Cairo ni a Moscovia para hacer tal experimento; pero que si él quería irse, yo habría desempeñado el otro papel quedándome en Venecia.

La idea era que si un par de agujas eran imantadas juntas —«tocadas por el mismo imán», como decía Browne—, podrían mantener su simpatía aunque estuvieran separadas por una gran distancia. Cabría llamar a esta situación «entrelazamiento». Un emisor y un receptor debían tomar las agujas y acordar la hora a la que iban a ponerse en contacto. Colocarían las agujas en discos que llevaran las letras del alfabeto situadas en el borde. El emisor enviaría un mensaje haciendo girar la aguja. «Entonces, dice la tradición», explicaba Browne, «sea cual sea la distancia a la que se encuentre, cuando una aguja sea llevada a una letra, la otra, en virtud de una maravillosa simpatía, se moverá en la misma dirección». Pero, a diferencia de cuantos tenían en consideración la idea de las agujas simpáticas, Browne realizó efectivamente el experimento. Y no funcionó. Cuando movía una aguja, la otra se estaba quieta.

Browne no llegó a desechar la posibilidad de que aquella fuerza misteriosa pudiera ser usada un día para comunicarse, pero hizo una advertencia más. Aunque la comunicación magnética a distancia fuera posible, decía, se plantearía un grave problema cuando el emisor y el receptor intentaran sincronizar sus acciones. ¿Cómo iban a saber la hora,

no siendo un asunto ordinario o de almanaque, sino un problema matemático, hallar la diferencia de horas de los distintos sitios? Ni siquiera los más sabios se sentirían perfectamente satisfechos. Pues las horas de los distintos lugares se adelantan unas a otras, según su respectiva longitud; que no se conoce a la perfección.

Se trataba de un pensamiento profético y totalmente teórico, fruto de los nuevos conocimientos de astronomía y geografía del siglo XVII. Era la primera

grieta en el supuesto, hasta entonces sólido, de la simultaneidad. En cualquier caso, como señalaba Browne, los expertos discrepaban. Habrían de pasar otros dos siglos antes de que alguien pudiera viajar con la suficiente rapidez o comunicarse con la suficiente celeridad como para experimentar las diferencias horarias que hay de un lugar a otro. En realidad, de momento no había nadie en el mundo capaz de comunicarse con tanto detalle, con tanta rapidez y a tanta distancia como los africanos iletrados con sus tambores.

En 1841, por la época en la que el capitán Allen descubrió los tambores parlantes, Samuel F. B. Morse se esforzaba en perfeccionar su código de percusión, el repique electromagnético destinado a propagarse a través del cable telegráfico. La invención de un código era un problema complejo y delicado. Al principio Morse ni siquiera pensaba en un código, sino en «un sistema de signos para las letras, que debían ser indicadas y marcadas por una sucesión de golpes o sacudidas de la corriente galvánica».^[1.11] Los anales de la invención no ofrecían casi ningún precedente. La cuestión de cómo convertir la información de una forma, el lenguaje cotidiano, en otra forma apta para la transmisión por cable pondría a prueba su ingenio más aún que cualquiera de los problemas mecánicos del telégrafo. No es de extrañar que la historia haya vinculado el nombre de Morse más a su código que a su aparato.

Tenía a su alcance una tecnología que parecía permitir solo meras pulsaciones, explosiones e implosiones de la corriente, la abertura y el cierre de un circuito eléctrico. ¿Cómo iba a expresar el lenguaje a través del repiqueteo de un electroimán? Lo primero que se le ocurrió fue emitir números, un dígito cada vez, con puntos y pausas. La secuencia ••• •• ••••• debía significar 325. A cada palabra inglesa se le asignaría un número, y los telegrafistas situados a cada extremo de la línea la buscarían en un diccionario especial. Morse se propuso elaborar él mismo ese diccionario, perdiendo muchas horas en escribirlo en folios enormes.^(1.12) Reivindicó esta idea en la patente de su primer telégrafo, de 1840:

El diccionario o vocabulario consiste en una serie de palabras ordenadas alfabéticamente y numeradas de forma regular, empezando por las letras del alfabeto, de modo que cada palabra de la lengua tenga su número telegráfico, y sea designada de forma arbitraria mediante los signos de los numerales.^[1.13]

En aras de la eficacia, sopesó los costes y las posibilidades de varios planos intersecantes. Tal era el coste de la propia transmisión: los cables serían caros y transmitirían solo un número determinado de pulsaciones por minuto. Los números serían relativamente fáciles de emitir. Pero por otra parte estaba el coste extra que esto supondría en concepto de tiempo y de dificultad para los telegrafistas. La idea de los manuales de códigos —tablas de consulta— seguía teniendo posibilidades, y se repetiría en el futuro, cuando se suscitara en otras tecnologías. Finalmente el sistema acabaría funcionando en la telegrafía china. Pero Morse se dio cuenta de que resultaría desesperadamente engorroso para los operadores tener que buscar cada palabra en un diccionario.

Mientras tanto, su protegido, Alfred Vail, desarrollaba una simple palanca mediante la cual el operador podía abrir y cerrar rápidamente el circuito eléctrico. Vail y Morse recuperaron la idea de un alfabeto codificado, utilizando unos signos sustitutivos de las letras, lo que les permitía transcribir todas las palabras. En cualquier caso los meros signos sustituirían todas las palabras de la lengua hablada o escrita. Representarían toda la lengua en una sola dimensión de pulsaciones. Al principio imaginaron un sistema basado en dos elementos: los repiqueteos (llamados actualmente puntos) y los silencios intermedios. Luego, jugueteando con su prototipo de teclado, descubrieron un tercer elemento: la raya o trazo, «cuando el circuito permanecía cerrado más tiempo de lo necesario para producir un punto».^[1.14] (El código pasó a llamarse el alfabeto de puntos y rayas, pero el silencio carente de nombre siguió siendo importantísimo; el código Morse no era un lenguaje binario).^(1.ii) El hecho de que los humanos pudieran aprender este nuevo lenguaje pareció al principio maravilloso. Primero tenían que dominar el sistema de codificación y luego llevar a cabo un acto continuo de doble traducción: de la lengua a signos; y de la mente a los dedos. Un testigo quedó sorprendido al ver la forma en que los telegrafistas interiorizaban estas habilidades:

Los empleados que utilizaban el aparato registrador adquirieron tal pericia en sus curiosos jeroglíficos que no les hacía falta consultar la copia impresa para saber cuál era el mensaje que estaban recibiendo; el instrumento registrador tiene para ellos un lenguaje articulado inteligible. Entienden su forma de hablar. Pueden cerrar los ojos y escuchar el extraño repiqueteo que llega a su oído mientras la impresión sigue adelante, y explican de inmediato lo que quiere decir.^[1.15]

En nombre de la velocidad, Morse y Vail se habían dado cuenta de que podían ahorrar golpes reservando las secuencias más cortas de puntos y rayas para las letras más corrientes. Pero ¿qué letras iban a usarse con más frecuencia? Era poco lo que se conocía acerca de las estadísticas del alfabeto. Buscando datos en torno a la frecuencia relativa de las letras, Vail tuvo la inspiración de visitar las oficinas del periódico local de Morristown, New Jersey, y examinar las cajas tipográficas.^[1.16] Comprobó que había un surtido de doce mil es, nueve mil tes, y solo doscientas zetas. Vail y Morse reorganizaron el alfabeto según estos datos. Originalmente habían usado raya-rayas-punto para representar la «t», la segunda letra más corriente; así que ascendieron a la «t» y le asignaron una sola raya, ahorrando así a los operadores telegráficos del futuro millones y millones de pulsaciones en el teclado. Mucho tiempo después, los teóricos de la información calcularían que aquello había supuesto una ganancia de casi un quince por ciento para un texto telegráfico inglés.^[1.17]

Ninguna ciencia de ese estilo, ningún pragmatismo semejante caracterizaba el lenguaje de los tambores. Pero había habido que resolver problemas, como había habido que hacer a la hora de diseñar el código de los telegrafistas: cómo transformar todo un lenguaje en una corriente unidimensional de simples sonidos. Este problema de diseño fue solucionado conjuntamente por generaciones y generaciones de tocadores de tam-tam a lo largo de un proceso secular de evolución social. A comienzos del siglo XX a los europeos dedicados al estudio de África les parecía evidente la analogía con el telégrafo: «Hace unos cuantos días leí en *The Times*», comunicaba el capitán Robert Sutherland a la Royal African Society de Londres, «que un hombre que habitaba en un extremo de África se enteró de la muerte de un niño europeo, acontecida en otro extremo alejadísimo del continente, y que la noticia le llegó por medio de los tambores, que fueron usados, según se dijo, “según el principio de Morse”; se trata siempre del “principio de Morse”». ^[1.18]

Pero esa analogía evidente indujo a la gente al error. No se logró descifrar el código de los tambores porque, en realidad, no había ningún código. Morse había inventado su sistema a partir de un estrato simbólico intermedio, el alfabeto escrito, a medio camino entre el lenguaje hablado y el código que él

acabó creando. Sus puntos y rayas no tenían una relación directa con el sonido; representaban letras, que formaban palabras escritas, que, a su vez, representaban las palabras pronunciadas en realidad. Los hombres que tocaban los tambores no podían basarse en un código intermedio —no podían elaborar una abstracción a través de un estrato de símbolos—, porque las lenguas africanas, como la casi totalidad de las seis mil lenguas habladas hoy día en el mundo menos unas pocas decenas, carecían de alfabeto. Los tambores metamorfoseaban la lengua.

Fue John F. Carrington el encargado de explicarlo. Misionero inglés nacido en 1914 en Northamptonshire, Carrington se fue a África a los veinticuatro años y África sería su hogar durante el resto de su vida. No tardaron en llamarle la atención los tambores, cuando salió de la misión de la Baptist Society para remontar la cuenca alta del río Congo, recorriendo los poblados de la selva de Bambole. Un día realizó un viaje improvisado a la pequeña ciudad de Yaongama y quedó sorprendido al ver que se habían reunido para darle la bienvenida un maestro, un auxiliar de medicina y varios miembros de su iglesia. Según le dijeron, habían oído los tambores. Finalmente se dio cuenta de que los tambores transmitían no solo anuncios y avisos, sino también oraciones, poesías e incluso chistes. Los hombres que tocaban los tambores no enviaban señales, sino que hablaban. Y hablaban una lengua especial, adaptada.

Por fin Carrington aprendió a tocar el tam-tam. Tocaba principalmente en kele, una lengua de la familia del bantú hablada en el oeste de lo que actualmente es el Zaire. «En realidad no es un europeo, a pesar del color de su piel», dijo hablando de Carrington un habitante del poblado de Lokele.^[1.19] «Era uno de nuestro poblado, era uno de nosotros. Cuando murió, los espíritus se equivocaron y lo enviaron lejos de aquí, a un poblado de blancos, para que entrara en el cuerpo de un niño que había nacido de una mujer blanca, en vez de nacer de una de nuestras mujeres. Pero como nos pertenecía a nosotros, no podía olvidar de dónde era y volvió». Y el nativo añadía generosamente: «Si va un poquillo atrasado con los tambores es debido a la poca educación que le dieron los blancos». Carrington pasó en África cuarenta años de su vida. Se convirtió en un gran botánico, antropólogo y sobre todo lingüista, toda una autoridad en la estructura de las familias lingüísticas africanas: miles de dialectos y varios centenares de lenguas distintas. Se fijó en lo locuaz que tenía que ser un buen

tocador de tam-tam. Finalmente publicó sus descubrimientos acerca de los tambores en 1949, en un pequeño volumen titulado *The Talking Drums of Africa*.

Al resolver el enigma de los tambores, Carrington descubrió la clave de un hecho fundamental de las lenguas africanas más importantes. Son lenguas tonales, en las que el significado viene determinado tanto por las subidas y bajadas de los contornos tonales como por las distinciones entre vocales y consonantes. Este rasgo está ausente en la mayoría de las lenguas indoeuropeas, empezando por el inglés, que utiliza el tono solo de forma limitada, sintáctica: por ejemplo, para diferenciar las preguntas («eres feliz ↗») de las afirmaciones («eres feliz ↘»). Pero en otras lenguas, entre las que destacan el mandarín y el cantonés, el tono tiene una significación primordial a la hora de diferenciar las palabras. Y lo mismo sucede en la mayor parte de las lenguas africanas. Los europeos no llegaron a captar la importancia de la tonalidad ni siquiera cuando aprendieron a comunicarse en esas lenguas, porque no estaban acostumbrados a ella. Cuando transcribían las palabras que escuchaban al alfabeto latino, pasaban completamente por alto el tono. De hecho era como si fueran daltónicos.

Hay tres palabras distintas de la lengua kele que los europeos transcriben *lisaka*. Dichas palabras se diferencian solo por sus respectivas tonalidades. Así, *lisaka*, con tres sílabas bajas, significa «charco»; *lisa^{ka}*, con la última sílaba alta (no necesariamente acentuada), significa «promesa»; y *liⁱsaka* significa «veneno». *Li^ala* significa «novia», y *liala*, «basurero». Según su transcripción parecen homónimas, pero de hecho no lo son. Una vez que empezó a ver la luz, Carrington recordaba: «He debido de ser culpable muchas veces de pedir a un niño que “zurrara un libro” o que “pescara que su amigo estaba por llegar”». [1.20] Los europeos sencillamente no tenían oído para percibir esas distinciones. Carrington se daba cuenta de lo cómica que podía llegar a ser la confusión:

alambaka boili [— _ — — _ _ _] = Contemplaba la orilla del río
alambaka boili [— — — — _ — _] = Coció a su suegra

Desde finales del siglo XIX los lingüistas han venido identificando el fonema como la mínima unidad acústica que marca la diferencia de significado.

La palabra inglesa *chuck* contiene tres fonemas: pueden crearse distintos significados cambiando *ch* por *d*, o *u* por *e*, o *ck* por *m*. Se trata de un concepto útil, pero imperfecto: a los lingüistas les ha resultado enormemente difícil ponerse de acuerdo a la hora de confeccionar un inventario preciso de los fonemas del inglés o de cualquier otra lengua (en el caso del inglés, la mayoría de los cálculos se aproximan a los cuarenta y cinco). El problema es que una cadena fónica es un *continuum*; un lingüista, de manera abstracta y arbitraria, puede romperla en unidades discretas, pero la significación de esas unidades varía de un hablante a otro y depende del contexto. Además, el instinto de la mayoría de los hablantes respecto a los fonemas se encuentra deformado por su conocimiento del alfabeto escrito, que codifica el lenguaje a su manera, con mucha frecuencia arbitrariamente. En cualquier caso, las lenguas tonales, con esa variable adicional, contienen muchos más fonemas de lo que pudiera parecer a primera vista a los lingüistas inexpertos.

Como las lenguas habladas en África elevaron la tonalidad a un papel trascendental, el lenguaje de los tambores supuso un paso muy difícil hacia adelante: emplear el tono y nada más que el tono. Era una lengua que solo tenía un par de fonemas, una lengua compuesta enteramente de contornos tonales. Los tambores podían diferir en materiales y en tipos de construcción. Unos eran platillos provistos de una hendidura, tubos de madera de padouk, huecos, en los que se había practicado una abertura larga y estrecha para formar un borde que producía sonidos altos y otro que producía sonidos bajos; otros estaban rematados con un pellejo, y eran utilizados por parejas. Lo importante era que los tambores produjeran dos notas distintas, con un intervalo entre ellas aproximadamente de tercera mayor.

Así, al trasponer el lenguaje hablado al lenguaje de los tambores, la información se perdía. La lengua del tam-tam era un sistema que tenía un defecto. En cada poblado y en cada tribu, el lenguaje de los tambores empezó por la palabra hablada y se despojó de las vocales y las consonantes. Eso era perder mucho. El resto de la corriente de información quedaría plagado de ambigüedades. Un doble golpe sobre el borde de tono alto del tambor [— —] coincidía con el esquema tonal de la palabra *kele* para designar al «padre», *sango*, pero naturalmente podía corresponder también a *songe*, la «luna»; *koko*, «ave»; *fele*, que es un tipo de pez; o cualquier otra palabra compuesta de dos

tonos altos. Hasta el limitado diccionario de los misioneros de Yakusu contenía ciento treinta palabras de ese estilo.^[1.21] Al reducir las palabras de la lengua hablada, con toda su riqueza fonética, a un código tan mínimo, ¿cómo podían los tambores distinguir unas de otras? La respuesta está, en parte, en la intensidad y la cadencia, pero estos dos criterios no podían compensar la falta de vocales y consonantes. Así, según descubrió Carrington, el hombre que tocaba el tam-tam añadiría invariablemente «una pequeña frase» a cada palabra corta. *Songe*, «luna», se expresa siempre como *songe li sange la manga* («la luna mira la tierra»). *Koko*, «ave», se expresa como *koko olongo la bokiokio* («el ave, la pequeña que dice kiokio»). Los redobles extra de tambor, lejos de ser superfluos, proporcionan el contexto necesario. Cada palabra ambigua empieza en una nebulosa de posibles interpretaciones alternativas; pero luego las posibilidades no deseadas se evaporan. Es algo que tiene lugar por debajo del nivel de la conciencia. Los oyentes escuchan solo tonos de tambor entrecortados, altos y bajos, pero en realidad «oyen» también las vocales y consonantes que faltan. A decir verdad, oyen frases enteras, no palabras aisladas. «Entre las personas que no tienen ningún conocimiento de escritura o de gramática, una palabra en sí, separada de su grupo sonoro, casi deja, al parecer, de ser una articulación inteligible», comunicaba el capitán Rattray.^[1.22]

Las largas colas estereotipadas se pasan por alto, y su redundancia supera la ambigüedad. El lenguaje de los tambores es creativo, genera libremente neologismos que designan las innovaciones llegadas del norte: barcos de vapor, cigarrillos y el Dios de los cristianos serían tres de las que llamaron particularmente la atención a Carrington. Pero los que tocan el tam-tam empiezan por aprender las fórmulas fijas tradicionales. En efecto, las fórmulas de los tocadores de tambor de África conservan a veces palabras arcaicas que ya se han olvidado en la lengua cotidiana. Para los yaundé, el elefante es siempre «el gran zopenco».^[1.23] El parecido con las fórmulas homéricas —no simplemente Zeus, sino Zeus el acumulador de nubes; no simplemente el mar, sino el vinoso mar— no es un mero accidente. En una cultura oral, la inspiración debe estar ante todo al servicio de la claridad y de la memoria. Las Musas son las hijas de Mnemósine.

Ni la lengua kele ni el inglés tenían todavía palabras para decir, *asignar funciones extra para la desambiguación y la corrección de errores*. Y, sin embargo, eso fue lo que hizo precisamente el lenguaje de los tambores. La redundancia —ineficaz por definición— sirve como antídoto de la confusión. Proporciona segundas oportunidades. Toda lengua natural lleva incorporada dentro de sí la redundancia; así es como las personas pueden entender un texto plagado de errores y como pueden entender una conversación en una habitación ruidosa. La redundancia natural del inglés es la que motivó el famoso póster del metro de Nueva York de los años setenta (y el poema de James Merrill):

*if u cn rd ths
u can gt a gd jb w hi pa!*

(«Esta antiortografía puede salvarte el alma», añade Merrill). La mayor parte de las veces, la redundancia del lenguaje forma solo parte del trasfondo.^[1.24] Para un telegrafista es un despilfarro. Pero para un africano que toca el tam-tam es fundamental. Otro lenguaje especializado nos proporciona una analogía perfecta: el de las transmisiones por radio de la aviación. Números y letras componen buena parte de la información que se transmiten los pilotos y los controladores del tráfico aéreo: altitudes, vectores, números de cola de los aviones, identificadores de pistas de aterrizaje y despegue y de pistas de rodaje, radiofrecuencias. Se trata de unas comunicaciones fundamentales por un canal extraordinariamente ruidoso, por lo que se emplea un alfabeto especializado para minimizar las ambigüedades. Al hablar, las letras *B* y *V* son fáciles de confundir; *bravo* y *victor* resultan más seguras. La *M* y la *N* se convierten en *mike* y *november*. En el caso de los números, *five* («cinco») y *nine* («nueve»), particularmente propensos a ser confundidos, se pronuncian *fife* y *niner*. Las sílabas de más desempeñan la misma función que la verbosidad excesiva de los tambores parlantes.

Tras publicar su libro, John Carrington encontró una forma matemática de explicar este concepto. Un artículo de un ingeniero de telecomunicaciones de los Bell Labs, Ralph Hartley, contenía incluso una fórmula que parecía bastante

relevante: $H = n \log s$, donde H es la cantidad de información, n es el número de símbolos del mensaje, y s es el número de símbolos disponibles en la lengua. [1.25] Posteriormente, un colega de Hartley, Claude Shannon, siguió sus pasos, y uno de sus proyectos clave fue la medición exacta de la redundancia en inglés. Los símbolos podían ser palabras, fonemas, o puntos y rayas. El grado de opción dentro de un conjunto de símbolos podía variar: mil palabras o cuarenta y cinco fonemas o veintiséis letras o tres tipos de interrupción de un circuito eléctrico. La fórmula cuantificaba un fenómeno bastante simple (simple, en cualquier caso, una vez que lo hemos percibido): cuanto menor sea el número de símbolos disponibles, mayor será el número de los que haya que transmitir para obtener una determinada cantidad de información. Para los africanos que tocan el tamtam, los mensajes tienen que ser casi ocho veces más largos que los dichos de viva voz.

A Hartley le costó bastante explicar el empleo que hacía de la palabra *información*. «Tal como se utiliza habitualmente, la información es un término muy elástico», decía, «y ante todo será preciso establecer para él un significado más concreto». Proponía concebir la información «físicamente» —palabra usada por él— y no psicológicamente. Vio entonces que las complicaciones se multiplicaban. De manera bastante paradójica, la complejidad venía de los estratos intermedios de símbolos: letras del alfabeto, o puntos y rayas, que eran discretos y, por consiguiente, fácilmente susceptibles de ser contados. Más difíciles de medir eran las conexiones entre esos sustitutos y el estrato básico: la propia voz humana. Era esa corriente de sonido cargado de significado la que tanto el ingeniero de telecomunicaciones como el africano que tocaba el tam-tam consideraban la verdadera materia de comunicación, aunque el sonido, a su vez, sirviera como código del conocimiento o del significado que se ocultaba tras él. En cualquier caso Hartley pensaba que un ingeniero tenía que ser capaz de generalizar todos los casos de comunicación: el código de la escritura y el código telegráfico así como la transmisión física del sonido por medio de ondas electromagnéticas a través del cable telefónico o por el aire.

Naturalmente no sabía nada de tambores. Y poco después de que John Carrington lograra entenderlos empezaron a desaparecer de la escena africana. El misionero lingüista vio cómo los jóvenes lokele practicaban cada vez menos el tam-tam, convertidos en escolares que ni siquiera conocían los nombres de sus

tambores.^[1.26] Lo sintió mucho. Había convertido a los tambores parlantes en parte de su vida. En 1954 un visitante procedente de los Estados Unidos lo encontró dirigiendo la escuela de la misión de una remota aldea congoleña, Yalembe.^[1.27] Carrington seguía yendo a pasear a diario por la selva, y cuando llegaba la hora del almuerzo, su esposa lo llamaba con un rápido redoble de tambor. Decía en él: «Espíritu de hombre blanco en la selva, ven, ven a casa de vigas que está por encima del espíritu del hombre blanco en la selva. Mujer con ñames espera. Ven, ven».

Poco después, todo eran gentes para las cuales la senda de la tecnología de la comunicación había saltado directamente de los tambores parlantes al teléfono móvil, pasando por alto los estadios intermedios.

LA PERSISTENCIA DE LA PALABRA

(En la mente no hay diccionario alguno)

Odiseo lloró cuando escuchó de boca del poeta el canto de sus grandes hazañas en tierras extranjeras, pues, una vez cantados, dejaban de ser exclusivamente suyos. Pertenerían a todo aquel que oyera la canción.^[2.1]

WARD JUST (2004)

T «ratemos de imaginar», proponía Walter J. Ong, sacerdote jesuita, filósofo y especialista en historia de la cultura, «una cultura en la que nadie haya “indagado” nunca nada».^[2.2] Apartar las tecnologías de la información que han ido interiorizándose a lo largo de dos mil años exige a la imaginación un salto atrás hacia un pasado ya olvidado. La tecnología más difícil de erradicar de nuestras mentes es la primera de todas: la escritura. Este hecho se manifiesta en los albores de la historia, y tuvo que manifestarse porque la historia empieza con la escritura. De ello depende que el pasado pueda calificarse de pasado.^[2.3]

Serían necesarios unos cuantos milenios para que esta estructuración del lenguaje como un sistema de signos adquiriera una segunda naturaleza, y a partir de ese momento no habría vuelta atrás a la ingenuidad. Enterrados en el pasado han quedado aquellos tiempos en los que nuestra consciencia de las palabras dependía de poder *verlas*. «En una cultura oral primaria», como indicaba Ong,

la expresión «consultar en un texto escrito» es una frase carente de sentido: no tendría ningún significado concebible. Sin la escritura, las palabras como tales no

tienen una presencia visual, aunque los objetos que representen sean visuales. Las palabras son sonidos. Tal vez se las «llame» a la memoria, se las «evoque». Pero no hay donde «buscar» para verlas. No tienen foco ni huella..., ni siquiera trayectoria.

En los años sesenta y setenta del siglo pasado, Ong declaró que la era de la electrónica era una nueva era de la oralidad, pero de una «oralidad secundaria», una era de la palabra hablada amplificada y extendida como no se había visto nunca, aunque siempre enmarcada en el contexto de la escritura: voces que se escuchan en un trasfondo de omnipresentes palabras impresas. La primera era de la oralidad había durado bastante más. Abarcaba casi toda la existencia de las especies, siendo la escritura un desarrollo de época tardía, y su conocimiento general un concepto posterior. Al igual que Marshall McLuhan, con el que solía ser comparado («el otro eminente profeta católico-electrónico», diría con cierto desdén Frank Kermode),^[2.4] Ong tuvo la desgracia de formular sus visionarias afirmaciones de una nueva era justo antes de que esta llegara verdaderamente. Parecía que los nuevos medios de comunicación eran la radio, el teléfono y la televisión. Pero en realidad no eran más que una luz trémula en medio del cielo nocturno, el débil reflejo de un resplandor que todavía no asoma por el horizonte. Independientemente de que Ong hubiera considerado el ciberespacio fundamentalmente oral o literario, no cabe duda de que lo habría visto transformador: no solo una revitalización de formas anteriores, no solo una ampliación, sino algo completamente nuevo. Probablemente percibiera una futura discontinuidad similar a la aparición de la propia escritura. Pocos supieron entender mejor que Ong la intensidad de la discontinuidad que se había producido.

Cuando comenzó sus estudios, la «literatura oral» era un tópico. Es un oxímoron vinculado a anacronismos; las palabras implican un acercamiento claramente inconsciente al pasado mediante el presente. La literatura oral era considerada generalmente una variante de la escritura; esto, en opinión de Ong, era algo «parecido a pensar en los caballos como automóviles sin ruedas».

Desde luego, es posible intentarlo. Imagínese escribiendo un tratado sobre caballos (para la gente que nunca ha visto uno) que comience con el concepto, no del caballo, sino del «automóvil», basándose en la experiencia directa de los lectores con los automóviles. Procede a profundizar sobre los caballos,

refiriéndose siempre a ellos como «automóviles sin ruedas»; explica a los lectores muy acostumbrados al automóvil (y que nunca han visto un caballo) todos los puntos que los distinguen [...] En lugar de ruedas, los automóviles sin ruedas tienen unas grandes uñas llamadas cascos; en lugar de faros, ojos; en lugar de una capa de pintura metalizada, algo llamado pelo; en lugar de gasolina como combustible, se alimentan de heno; y así sucesivamente. Al final, los caballos serán simplemente lo que no son.^[2.5]

Cuando se trata de comprender el pasado anterior a la escritura, los hombres modernos de hoy estamos irremediablemente «automovilizados». La palabra escrita es el mecanismo por el que sabemos lo que sabemos. Organiza nuestro pensamiento. Tal vez deseemos comprender la aparición de la escritura tanto desde un punto de vista histórico como lógico, pero la historia y la lógica son en sí mismas productos del pensamiento escrito.

La escritura, como tecnología, exige premeditación y un arte especial. El lenguaje no es una tecnología, por muy bien desarrollado que esté y por muy eficaz que sea. No hay que verlo como algo aislado de la mente; es lo que hace la mente. «De hecho, el lenguaje mantiene con el concepto de mente la misma relación que la legislación con el concepto de parlamento», dice Jonathan Miller: «es una competencia que se encarna siempre en una serie de actos concretos».^[2.6] Podría decirse lo mismo de la escritura —es un acto concreto—, pero cuando la palabra aparece representada en un papel o en una piedra, adopta una existencia distinta como artificio. Es producto de unos instrumentos, y es un instrumento. Y como muchas tecnologías posteriores, inmediatamente inspiró por ello diversos detractores.

Un pensador muy alejado de cualquier corriente ludita fue también uno de sus primeros beneficiarios a largo plazo. Platón (canalizando al Sócrates oral) advertía de que esta tecnología significaba un empobrecimiento:

Porque es olvido lo que producirán [las letras] en las almas de quienes las aprendan, al descuidar la memoria, ya que, fiándose de lo escrito, llegarán al recuerdo desde fuera, a través de caracteres ajenos, no desde dentro, desde ellos mismos y por sí mismos. No es, pues, un fármaco de la memoria lo que has hallado, sino un simple recordatorio; apariencia de sabiduría es lo que proporcionas a tus alumnos, y no verdad.^[2.7]

Llegarán al recuerdo desde fuera, a través de caracteres ajenos, no desde dentro, desde ellos mismos y por sí mismos: este era el problema. Sucedáneos de la expresión como los trazos escritos en los papiros o las inscripciones en tablillas de barro presentaban una gran abstracción de ese sonido real del lenguaje que fluye libremente, ligado al pensamiento tan íntimamente que llega a parecer la misma cosa. La escritura daba la impresión que alejaba al hombre del conocimiento, que almacenaba sus recuerdos. También alejaba al orador del oyente, colocándolo a muchos kilómetros o años de distancia. Las consecuencias más trascendentales de la escritura, tanto para el individuo como para la cultura, difícilmente podían preverse, pero hasta Platón pudo apreciar parte del poder de esta desconexión. Un hombre habla a la multitud. Los muertos hablan a los vivos, los vivos a los que están por nacer. Como decía McLuhan, «Dos mil años de cultura del manuscrito precedían al mundo occidental cuando Platón realizó esta observación».^[2.8] El poder de esta primera memoria artificial era incalculable: poder para reestructurar el pensamiento, poder para engendrar la historia. Sigue siendo incalculable, aunque hay una estadística que permite hacernos una idea de su magnitud: todo el vocabulario de cualquier lenguaje oral comprende unos pocos miles de palabras, pero la lengua en la que más se ha escrito, el inglés, tiene documentado un vocabulario de más de un millón de palabras, un corpus al que cada año se suman miles de palabras. Estas palabras no existen solo actualmente. Cada una de ellas tiene unos orígenes y una historia que se funden en su vida presente.

Como si fueran migas de pan, con palabras comenzamos a dejar un rastro, unos recuerdos en símbolos para los que están por venir. Las hormigas utilizan sus feromonas, rastros que contienen información química; Teseo fue recogiendo el hilo de Ariadna. Y ahora la gente deja rastros de papel. La razón de ser de la escritura es guardar información a lo largo del tiempo y sin límites de espacio. Antes de escribirse, una información es evanescente y local; los sonidos tienen un alcance de pocos metros y caen en el olvido. La evanescencia de la palabra hablada se manifestaba sin más. Tan efímera era una frase expresada verbalmente que el curioso fenómeno del eco, el sonido que se repite una y otra vez, parecía algo mágico. «Para este milagroso resonar de la voz», escribió Plinio, «tienen los griegos un nombre muy curioso, lo llaman eco».^[2.9] «El símbolo hablado», como observaba Samuel Butler, «perece al instante sin dejar

ninguna huella material, y si llega a pervivir, lo hace solo en las mentes de quienes lo han escuchado». Butler pudo formular este axioma precisamente cuando fue puesto en entredicho por primera vez, a finales del siglo XIX, con la llegada de las tecnologías eléctricas destinadas a captar la voz, pues su evidencia dejó de ser totalmente cierta. Butler terminaba la distinción diciendo: «El símbolo escrito extiende sin limitaciones, en lo concerniente a tiempo y a espacio, el ámbito en el que una mente puede comunicarse con otra; proporciona a la mente del que escribe una existencia limitada únicamente por la duración de la tinta, del papel y del número de lectores, en contraposición a las que impone su cuerpo, hecho de carne y sangre».^[2.10]

Pero el nuevo canal no se limita exclusivamente a extender el canal anterior. Permite la reutilización y la «re-colección», esto es, nuevos métodos. Permite una serie de arquitecturas de información completamente nuevas. Entre ellas figuran la historia, el derecho, la economía, las matemáticas y la lógica. Al margen de sus contenidos, estas categorías representan técnicas nuevas. El poder reside no solo en el conocimiento, conservado y transmitido a la posteridad, valioso como es, sino en la metodología: indicaciones visuales codificadas, el acto de transferir, la sustitución de signos por cosas y a continuación, más tarde, de signos por signos.

Las gentes del Paleolítico comenzaron hace al menos treinta mil años a grabar y pintar formas que al verlas les recordaban la imagen de un caballo, un pez o un cazador. Estos signos en tablillas de arcilla y en las paredes de las cuevas tenían una finalidad artística o mágica, y los historiadores son reticentes a llamarlos escritura, pero lo cierto es que comienzan a registrar una serie de estados mentales en una forma de comunicación externa. De otra manera, un nudo en una cuerda o una muesca en un palo servían para despertar un recuerdo. Podían considerarse mensajes. Los signos en una pieza de cerámica o en una construcción podían significar su pertenencia a alguien. Signos, imágenes, pictografías, petroglifos: a medida que fueron estilizándose, convirtiéndose en convencionales y, por lo tanto, haciéndose cada vez más abstractos, se iban acercando a lo que entendemos como escritura, pero fue crucial una transición más, una transición que llevó de la representación de cosas a la representación

del lenguaje hablado: esto es, una representación dos veces sustituida. Hay una progresión que va de lo pictográfico, esto es, *escribir la imagen*, a lo ideográfico, esto es, *escribir la idea*, y luego a lo logográfico, esto es, *escribir la palabra*.

La escritura china empezó esta transición hace 4500-8000 años: unos signos que comenzaron como imágenes pasaron a representar unidades de sonido con significado. Como la unidad básica era la palabra, fueron necesarios miles de símbolos distintos. Esto resulta eficaz en un sentido, pero ineficaz en otro. El chino unifica una serie de distintas lenguas habladas: individuos que no pueden hablar unos con otros, sí pueden escribirse. Utiliza cincuenta mil símbolos al menos, de los que unos seis mil son empleados y conocidos por la mayoría de los chinos que saben leer y escribir. En rápidas pinceladas diagramáticas codifican relaciones semánticas multidimensionales. Un sistema es la simple repetición: *árbol + árbol + árbol = bosque*; de manera más abstracta, *sol + luna = resplandor* y *este + oeste = todas partes*. El proceso de composición da lugar a algunas sorpresas: *grano + cuchillo = beneficio*; *mano + ojo = mirar*. Los caracteres pueden ser transformados en un significado reorientando sus elementos: *niño* en *parto* y *hombre* en *cadáver*. Algunos elementos son fonéticos; otros, paronomásticos. En conjunto constituyen el sistema de escritura más rico y complejo que haya desarrollado el hombre. Si consideramos el arte de la escritura en términos del número de símbolos necesarios y de la cantidad de significados que tiene cada símbolo, el chino se convierte en un caso extremo: el mayor conjunto de símbolos en el que cada uno de esos símbolos tiene más significados. Los sistemas de escritura podían tomar caminos alternativos: menos símbolos, cada uno de ellos también con menos información. En un estadio intermedio está el silabario, un sistema fonético de escritura que utiliza distintos caracteres para representar sílabas, que pueden tener significado o no. Unos pocos centenares de centenares pueden bastar para una lengua.

El sistema de escritura situado en el extremo opuesto fue el que más tardó en aparecer: el alfabeto, un símbolo para un sonido mínimo. El alfabeto es el más reductivo, el más subversivo de todos los sistemas de escritura.

Todas las lenguas del mundo utilizan la misma palabra para indicarlo: alfabeto, alphabet, алфавит, *αλφάβητο*. El alfabeto se inventó solo una vez. Todos los alfabetos conocidos, tanto los utilizados hoy día como los descubiertos

enterrados en tablillas o en piedras, descienden de un mismo antepasado original, que nació cerca de la cuenca oriental del mar Mediterráneo poco antes de 1500 a. e. c., en una región que se convirtió en un cruce de culturas políticamente inestables y que comprendía Palestina, Fenicia y Asiria. Al este se encontraba la gran civilización mesopotámica, con su escritura cuneiforme de mil años de antigüedad; al sudoeste, siguiendo la costa, estaba Egipto, donde se desarrollaron de manera simultánea e independiente los jeroglíficos. Desde Chipre y Creta viajaban también mercaderes, llevando consigo sistemas de escritura propios incompatibles. Con glifos de cretenses, hititas y anatólios se produjo una mezcla de símbolos. Las clases sacerdotales dirigentes fueron las depositarias de sus sistemas de escritura. Los que poseían la escritura también estaban en posesión de las leyes y los ritos. Pero la autoconservación tuvo que competir con el deseo de una comunicación rápida. La escritura era conservadora; la nueva tecnología, pragmática. Un sistema de símbolos esenciales, solo veintidós signos, fue la innovación de unos pueblos semíticos situados en Palestina o sus alrededores. Los especialistas apuntan a Kiriath-sepher, que podría traducirse como «ciudad del libro», y a Biblos, «ciudad del papiro», pero nadie lo sabe con certeza ni puede saberlo. El paleógrafo tiene un curioso problema de proceso interno. La historia de su especialidad ha sido posible gracias exclusivamente a la escritura. La máxima autoridad del siglo XX en materia de alfabeto, David Diringer, citaba a uno de sus predecesores: «Nunca ha habido un hombre que pudiera sentarse y decir: “Ahora seré el primer hombre que se ponga a escribir”». ^[2.11]

El alfabeto se expandió por contagio. La nueva tecnología era a la vez el virus y el vector epidemiológico que lo transmitía. No podía ser monopolizada, y tampoco podía suprimirse. Hasta un niño podía aprender esas pocas letras aparentemente banales y vacías desde el punto de vista semántico. Rutas divergentes conducían a los alfabetos del mundo árabe y del norte de África, al alfabeto hebreo y al fenicio, a través del centro de Asia al brahmi y a los sistemas de escritura desarrollados bajo su paraguas en la India, y a Grecia. La nueva civilización que surgió en esta región de Europa llevó el alfabeto a un alto grado de perfección. Más tarde aparecerían el alfabeto latino y el cirílico.

Grecia no había tenido necesidad de un alfabeto para crear literatura, hecho que los especialistas comenzaron a aceptar a regañadientes solo a comienzos de

los años treinta del siglo pasado. Fue cuando Milman Parry, un lingüista estructural que estudió la tradición de la poesía épica oral en Bosnia y Herzegovina, propuso que la *Ilíada* y la *Odisea* no solo podrían haber sido compuestas y cantadas sin la ayuda de la escritura, sino que fueron compuestas y cantadas sin la ayuda de esta tecnología. La escansión, la redundancia formulaica, en efecto, la mismísima poesía de las grandes obras servía principalmente para ayudar en primer lugar a la memoria. Su poder mágico hacia del verso una cápsula de tiempo, capaz de transmitir una enciclopedia virtual de cultura a una generación tras otra. La tesis de Parry era en primer lugar controvertida, pero también increíblemente convincente, aunque solo porque los poemas *fueron escritos* entre los siglos VI y VII a. e. c. Este acto, la transcripción de los poemas épicos de Homero, resuena en la historia de la literatura. «Fue como un trueno en la historia de la humanidad, un trueno que la predisposición a la familiaridad ha convertido en el crujido de los papeles que se amontonan sobre la mesa del despacho», dijo Eric Havelock, un especialista británico en lenguas clásicas que siguió las enseñanzas de Parry. «Supuso una intrusión en la cultura, con unas consecuencias que serían irreversibles. Sentó las bases para la destrucción del sistema de vida oral y las formas orales de pensamiento».^[2.12]

La transcripción de Homero convirtió esta gran obra poética en un nuevo medio e hizo de ella algo que no había sido planeado: el sintagma momentáneo que el rapsoda transformaba cada vez en algo nuevo, y que volvía a desvanecerse mientras resonaba en el oído de quien lo escuchaba, pasó a ser un verso escrito en una hoja de papiro, que quedaba así fijado, pero que podía ir de un lugar a otro. Quedaba por ver si esta forma extraña y distante de transmisión iba a encajar con la creación de poesía y de cantos. Mientras tanto, la palabra escrita contribuiría a fomentar otras formas más mundanas de expresión, como, por ejemplo, las peticiones a las divinidades, las disposiciones legales y los acuerdos económicos. La escritura permitió también la aparición de comentarios sobre los pensamientos. Los textos escritos se convirtieron en objeto de un nuevo tipo de interés.

Pero ¿cómo hablar de ellos? Las palabras para describir los elementos de estos comentarios no existían en el léxico de Homero. Hubo que extraer nuevas formas de lenguaje de una cultura oral, apareciendo así un nuevo vocabulario. Se

consideraba que los poemas tenían *tópicos* (palabra que significaba «lugar»). Poseían *estructura*, por analogía con las construcciones. Estaban hechos de *trama* y *dicción*. Aristóteles pudo ver entonces el trabajo de los bardos como «representaciones de la vida», fruto del impulso natural a la imitación que comienza a manifestarse en la infancia. Pero también tuvo que dar cuenta de otro tipo de obra escrita que tenía otros objetivos —como, por ejemplo, los diálogos socráticos y los tratados médicos o científicos—, y este tipo de obras en general —incluidas probablemente las suyas—, «no tienen, por el momento, nombre alguno».^[2.13] Todo un reino de la abstracción, separado forzosamente de lo concreto, estaba en fase de construcción. Havelock describe este proceso como una guerra cultural, una nueva conciencia y un nuevo lenguaje en competición con la vieja conciencia y el viejo lenguaje: «Su enfrentamiento produjo aportaciones permanentes y esenciales al vocabulario de todo el pensamiento abstracto. Cuerpo y espacio, materia y movimiento, estabilidad y cambio, calidad y cantidad, combinación y separación, son algunas de las calculadoras que comenzaron a utilizarse para el recuento de una moneda común».^[2.14]

El propio Aristóteles, hijo del médico del rey de Macedonia, y pensador ávido y organizado, intentaba sistematizar el conocimiento. La persistencia de la escritura permitió poner una estructura a lo que se sabía del mundo y, a continuación, a lo que se sabía del saber. Cuando se pudo escribir palabras, examinarlas, volver a examinar esas mismas palabras al día siguiente y considerar su significado, aparecieron los filósofos, y los filósofos comenzaron a emprender a partir de cero un vasto proyecto de definición. El conocimiento triunfó por sí mismo. Para Aristóteles valía la pena, y era necesario, registrar las nociones más elementales:

El *comienzo* es aquello que, de por sí, necesariamente no adviene después de algo, si bien algo más acontece o existe de manera natural después de él; el *fin*, en cambio, es aquello que de por sí, y de manera natural, ocurre después de otra cosa, o forzosamente o de ordinario, mientras que luego de sí no tiene nada más; *medio* es aquello que de por sí ocurre después de otra cosa y al que sigue otra cosa.^[2.15]

No son afirmaciones sobre experiencias, sino sobre los usos del lenguaje para estructurar experiencias. Del mismo modo, los griegos crearon *categorías* (palabra que significaba originalmente «acusaciones» o «predicciones») como

medios para clasificar especies animales, insectos y peces. Además, luego pudieron clasificar ideas. Se trataba de una forma de pensamiento radical y extraña. Platón había advertido que resultaría repelente para la mayoría de las personas:

El vulgo no puede admitir ni que existe lo bello en sí, sino solo que hay una multiplicidad de cosas bellas, ni que existe cada cosa en sí, sino solo la multiplicidad de cosas particulares. Por lo tanto, es imposible que el vulgo sea filósofo.^[2.16]

«El vulgo» debe entenderse como «los individuos analfabetos». Es gente que «anda errando por una multiplicidad de cosas diferentes», dice Platón, observando la cultura oral que seguía rodeándolo. «En su alma no hay ningún modelo claro.»^[2.17]

¿Y a qué modelo claro se refiere? Havelock se centró en el proceso de convertir, mentalmente, una «prosa de narrativa» en un «prosa de ideas»; de organizar la experiencia en términos de categorías en vez de acontecimientos; de abrazar la disciplina de la abstracción. Para este proceso tuvo una palabra, y la palabra era *pensar*. Era el descubrimiento, no solo del yo, sino del yo *pensante*, en efecto, el verdadero comienzo de la conciencia.

En nuestro mundo arraigado en el conocimiento de las letras, pensar y escribir parecen actividades apenas relacionadas entre sí. Podemos imaginar que la segunda depende de la primera, pero no al revés: todo el mundo piensa, pero no todo el mundo escribe. Sin embargo, Havelock tenía razón. La palabra escrita —la palabra persistente— era un requisito del pensamiento consciente como lo entendemos actualmente. Fue el detonador de un cambio irreversible y radical en la psique humana, *psique* entendida como la palabra utilizada por Sócrates y Platón cuando se esforzaban por comprender. Platón, como dice Havelock,

intenta, por primera vez en la historia, identificar este grupo de cualidades mentales generales, y busca un término que los califique de manera satisfactoria en un mismo tipo [...] Fue él quien señaló con júbilo el portento y quien correctamente lo identificó. Al hacerlo, también confirmó y afianzó las conjeturas de una generación anterior que había tenido la sensación de dirigirse hacia la *idea* de que podía «pensar», y que «pensar» era un tipo de actividad psíquica muy especial, muy incómoda, pero también muy apasionante; una actividad que

requería una nueva utilización de la lengua griega.^[2.18]

Dando el paso siguiente por el camino de la abstracción, Aristóteles utilizó categorías y relaciones en un orden sistematizado para desarrollar un simbolismo del razonamiento: la lógica, del griego *λόγος*, *logos*, palabra bastante poco traducible de la que se originan tantas cosas, y que significa «discurso», o «expresión» o «conversación», o, en último término, simplemente «palabra».

Tal vez imaginemos que la lógica existía independientemente de la palabra escrita —los silogismos pueden ser expresados tanto oralmente como por escrito—, pero no era así. El lenguaje hablado es demasiado efímero para poder someterlo a análisis. La lógica derivaba de la palabra escrita, tanto en Grecia como en la India o en China, donde se desarrolló de manera independiente.^[2.19] La lógica convierte el arte de la abstracción en un instrumento para determinar lo que es verdad y lo que no lo es: la verdad puede descubrirse solo en las palabras, además de algunas experiencias concretas. La lógica adopta su forma en una serie de cadenas: secuencias cuyos integrantes se conectan unos con otros. Las conclusiones se extraen de unas premisas. Estas requieren cierto grado de constancia. Carecen de poder si no pueden ser examinadas y evaluadas. En cambio, una narración oral se desarrolla con enriquecimientos, las palabras discurren en una línea de exposición ante una audiencia, estando presentes brevemente para luego desaparecer, interactuando unas con otras a través de los recuerdos y la asociación de ideas. No hay silogismos en Homero. Las experiencias están organizadas por acontecimientos, no por categorías. Solo con la escritura la estructura narrativa llega a encarnar un argumento racional continuado. Aristóteles da un paso más al entender el estudio de ese argumento —no solo el uso del argumento, sino también su estudio— como un instrumento. Su lógica expresa una constante consciencia de las palabras que lo componen. Cuando desarrolla premisas y conclusiones —*Si es posible que «caballo» no se predique de ningún hombre, es también posible que «hombre» no se predique de ningún caballo; y si es posible que «blanco» no se predique de ninguna capa, es también posible que «capa» no se predique de ninguna cosa blanca. Pues si «capa» debiera predicarse de alguna cosa que fuera blanca, «blanco» se predicaría también necesariamente de una capa—*,^[2.20] Aristóteles ni necesita ni implica ninguna experiencia personal con los caballos, con las prendas de

vestir o con los colores. Ha abandonado ese mundo. No obstante, en cualquier caso afirma, mediante la manipulación de las palabras, crear un conocimiento y un tipo de saber superior a este.

«Sabemos que la lógica formal fue creación de la cultura griega después de haber asimilado la tecnología de la escritura alfabética», observa Walter Ong — cabe decir lo mismo de la India y de China—, «y así convirtió en parte permanente de sus recursos intelectuales el tipo de pensamiento que la escritura alfabética hacía posible».^[2.21] Para dar prueba de ello, Ong recurre a un trabajo de campo realizado por el psicólogo ruso Aleksandr Romanovich Luria entre gentes analfabetas de las lejanas regiones de Uzbekistán y Kirguistán, en Asia central, en los años treinta del siglo pasado.^[2.22] Luria encontró sorprendentes diferencias entre los analfabetos e incluso entre los individuos un poco alfabetizados, no por lo que sabían, sino por su manera de pensar. La lógica implica directamente el simbolismo: las cosas forman parte de unas clases; poseen cualidades, que son abstractas y generales. Los individuos de una cultura oral carecen de las categorías que son habituales incluso para los iletrados que viven en medio de una cultura alfabetizada: por ejemplo, para las figuras geométricas. Al mostrárseles los dibujos de unos círculos y unos rectángulos, definieron las imágenes como «plato, tamiz, cubo, reloj o luna» y como «espejo, puerta, casa o tabla para secar albaricoques». No podían aceptar unos silogismos lógicos, o no estaban dispuestos a ello. Una pregunta típica:

En las lejanas regiones del extremo norte, donde hay nieve, todos los osos son blancos.

Novaya Zembla está en el extremo norte, y allí siempre hay nieve.
¿De qué color son los osos?

La respuesta típica: «Ni idea. He visto un oso negro. No he visto otros... Cada lugar tiene sus propios animales».

En cambio, un individuo que acaba de aprender a leer y a escribir responde, «Por lo que dices, todos deberían ser blancos». Por lo que dices: es en esa frase donde se avanza un nivel. La información ha sido separada de cualquier persona, aislada de la experiencia del que habla. Vive en las palabras, pequeños módulos para mantenerlas vivas. Las palabras habladas también transportan información, pero no con la consciencia que lleva la escritura. Los individuos alfabetizados

dan por hecho su propia consciencia de las palabras, junto con la serie de mecanismos asociados a las palabras: la clasificación, la referencia, la definición. Antes de la escritura, no había nada evidente sobre este tipo de técnicas: «Intente explicarme qué es un árbol», dice Luria, y un campesino responde, «¿Por qué debería hacerlo? Todo el mundo sabe qué es un árbol, no necesita que yo se lo cuente».

«Fundamentalmente, el campesino tenía razón», comenta Ong. «No hay manera de refutar el mundo de la oralidad primaria. Lo único que puede hacerse es alejarse de él para adentrarse en el conocimiento de la escritura».^[2.23]

No deja de ser un viaje tortuoso pasar de cosas a palabras, de palabras a categorías y de categorías a la metáfora y a la lógica. Por muy poco natural que pareciera definir *árbol*, era aún más espinoso definir *palabra*, y ciertos términos auxiliares sumamente útiles como *definir* no estaban al principio a nuestro alcance, pues no había necesidad de ello. «En la infancia de la lógica, hay que inventar una forma de pensamiento antes de verter el contenido», decía Benjamin Jowett, un traductor de Aristóteles del siglo XIX.^[2.24] Las lenguas habladas necesitaban evolucionar más.

Lenguaje y razonamiento encajan tan bien, que los usuarios no siempre podían apreciar sus defectos y sus lagunas. No obstante, en cuanto una civilización inventaba una lógica, surgían las paradojas. En China, aproximadamente en la misma época de Aristóteles, el filósofo Gongsun Long expuso algunas de ellas en forma de diálogo, el llamado «Cuando un caballo blanco no es un caballo».^[2.25] Fue escrito en tiras de bambú, atadas con cuerda, antes de que se inventara el papel. Comienza así:

¿Puede ser que un caballo blanco no sea un caballo?

Puede.

¿Cómo?

«Caballo» es aquello por lo que se denomina la forma. «Blanco» es aquello por lo que se denomina el color. Lo que denomina el color no es lo que denomina la forma. De ahí que diga que un caballo blanco no es un caballo.

Parece un razonamiento incomprensible. Comienza a abordar la cuestión como una afirmación sobre el lenguaje y la lógica. Gongsun Long era miembro de la Mingjia, la Escuela de los Nombres, y su investigación de todas estas

paradojas formaba parte de lo que los historiadores chinos denominan «crisis del lenguaje», un debate, que todavía persiste, acerca de la naturaleza del lenguaje. Los nombres no son las cosas que estos denominan. Las clases no tienen los mismos límites ni los mismos objetivos que las subclases. Así pues, se ponen en entredicho algunas deducciones aparentemente inocentes: «a un hombre le disgustan los caballos blancos» no implica «a un hombre le disgustan los caballos».

Tú crees que los caballos que «tienen color» no son caballos. Bajo el cielo, no hay caballos que «no tienen color». Decir que bajo el cielo no tenemos caballos, ¿es admisible?

El filósofo enciende una luz en el proceso de abstracción de unas clases basadas en propiedades: «blancura», «el caballo». ¿Forman parte de la realidad estas clases? ¿O solo existen en el lenguaje?

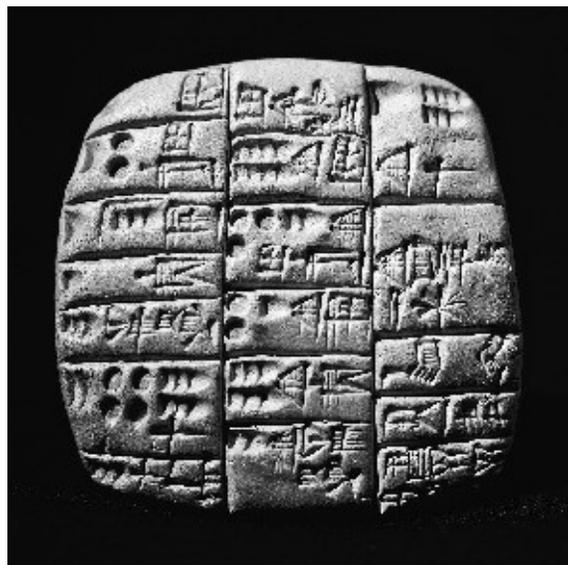
Digo que los caballos originariamente «tienen color». Si no lo tuvieran, serían simplemente caballos, y si fuera así, ¿dónde encontraríamos un caballo blanco? Un caballo blanco es un caballo y es blanco. Un caballo y un caballo blanco son cosas distintas. De ahí que diga que un caballo blanco no es un caballo.

Después de dos mil años, los filósofos siguen debatiendo estos textos. Los caminos de la lógica por el pensamiento moderno no solo se ven a veces interrumpidos, sino que son indirectos y tortuosos. Como parece que las paradojas se encuentran en el lenguaje, o están relacionadas con él, una manera de eliminarlas consistía en purificar el medio: la supresión de palabras ambiguas y de una sintaxis desorganizada, y la utilización de símbolos que fueran rigurosos y puros. Esto es, fijarse en las matemáticas. A comienzos del siglo XX, parecía que únicamente un sistema de símbolos construidos con un objetivo podía lograr que la lógica funcionara adecuadamente, esto es, sin incurrir en errores y paradojas. Este sueño acabaría resultando una ilusión; sutilmente, las paradojas volverían a hacer su aparición, pero nadie podría esperar comprender por qué hasta que no convergieran los caminos de la lógica y las matemáticas.

Las matemáticas también aparecieron a partir de la invención de la escritura.

A menudo se considera Grecia la fuente del río que se ha convertido en las matemáticas modernas, con todos sus numerosos afluentes que han ido uniéndose a él a lo largo de los siglos. Pero los mismos griegos aludían a otra tradición —para ellos, antigua—, que llamaban Caldea, y que nosotros entendemos que era Babilonia. Esta tradición se desvaneció en la arena del desierto, y no volvió a aparecer hasta finales del siglo XIX, cuando en el curso de las excavaciones de los túmulos de unas ciudades perdidas fueron halladas unas tablillas de arcilla.

Al principio aparecieron unas cuantas docenas, pero luego comenzaron a salir a la luz miles de ellas, todas del tamaño de una mano, grabadas con una escritura de trazos rápidos y angulosos llamada «cuneiforme», esto es, «en forma de cuña». La escritura cuneiforme evolucionada no era ni pictográfica (los símbolos eran abstractos y podían tener diversos significados) ni alfabética (eran muy numerosos). En 3000 a. e. c. aproximadamente, un sistema de unos setecientos símbolos floreció en Uruk, la ciudad amurallada, probablemente la más grande del mundo, hogar del rey y héroe Gilgamesh, situada en una región de pantanos en la ribera oriental del río Éufrates. A lo largo del siglo XX varios equipos de arqueólogos alemanes se encargaron de la excavación de sus ruinas. Salieron a la luz los materiales de las tecnologías de la información más antiguas. Con arcilla húmeda en una mano y un tallo vegetal biselado en forma de cuña en otra, un escriba podía imprimir pequeños caracteres en columnas y en fila.



Tablilla cuneiforme.

El resultado: mensajes crípticos de una cultura extraña. Pasaron varias generaciones hasta que fueron descifrados. «Como un telón que sube para mostrarnos estas apasionantes civilizaciones, la escritura nos permite contemplarlas directamente, pero con poca claridad», dice el psicólogo Julian Jaynes.^[2.26] En un primer momento, algunos europeos se sintieron muy ofendidos. «A los asirios, a los caldeos y a los egipcios», escribió en el siglo XVII Thomas Sprat, uno de los «divinos» de la Iglesia Anglicana, «debemos la Invención», pero también la «Corrupción del saber», cuando lo ocultaron con sus extraños sistemas de escritura. «Era costumbre de sus Sabios concluir sus Comentarios sobre la Naturaleza, y las Costumbres del Hombre en las oscuras Tinieblas de los *Hieroglyphicks*»^[2.27] (como si otros individuos de la antigüedad más afables hubieran optado por utilizar un alfabeto con el que Sprat estuviera más familiarizado). Los primeros ejemplos de escritura cuneiforme fueron los que resultaron más frustrantes para los arqueólogos y los especialistas en paleolingüística, porque la primera lengua que se escribió, el sumerio, no les permitía ahondar en su cultura ni en su pronunciación. El sumerio resultó una rareza lingüística, una lengua aislada sin descendientes conocidos. Cuando los especialistas aprendieron a leer las tablillas de Uruk, vieron que, a su manera, hablaban de cosas monótonas y rutinarias: informes civiles, contratos y leyes, recibos y facturas en concepto de cebada, ganado, aceite, adobes de arcilla y piezas de cerámica. Durante cientos de años no se reproduciría en las tablillas nada parecido a un texto poético o literario. Las tablillas mostraban el día a día de un comercio y una burocracia emergentes. No solo registraban las actividades de ese comercio y esa burocracia, sino que, ante todo, las hacían posibles.

Además, la escritura cuneiforme incorporaba signos para contar y medir. Distintos caracteres, utilizados de distintas maneras, podían indicar números y pesos. No apareció una forma más sistemática de escribir las cifras hasta la época de Hammurabi, 1750 a. e. c., cuando Mesopotamia estaba unificada alrededor de la gran ciudad de Babilonia. Es probable que el propio Hammurabi fuera el primer rey que sabía leer y escribir, grabando personalmente en las tablillas los caracteres cuneiformes en lugar de depender de escribas para ello; además, la construcción de su imperio pone de manifiesto la relación existente

entre la escritura y el control de la sociedad. «Este proceso de conquista y hegemonía fue posible por la gran abundancia, sin precedente hasta entonces, de cartas, tablillas y estelas», indica Jaynes. «La escritura se convirtió en un nuevo método de dirigir la sociedad, de hecho, el modelo que ha dado lugar a nuestro propio gobierno transmisor de comunicados e informaciones.»^[2.28]

La escritura de los números había evolucionado para convertirse en un sistema elaborado. Los números estaban compuestos solamente de dos partes básicas, una «cuña» vertical para indicar el 1 (I) y una «cuña» angulada para indicar el 10 ($\text{<$). Estos signos se combinaban para formar los caracteres habituales, de modo que III representaba 3, <III representaba 16 y etcétera. Pero el sistema babilonio no era decimal, basado en 10; era sexagesimal, esto es, basado en 60. Todos los números comprendidos entre 1 y 60 tenían su propio carácter. Para formar cifras largas, los babilonios seguían una numeración de posición: I < era 70 (un 60 más diez 1); <<III era 616 (diez 60 más dieciséis 1), etcétera.^[2.29] Nada de todo esto se sabía con certeza cuando las tablillas salieron a la luz. Se descubrió que un tema básico con diversas variaciones, hallado repetidas veces, era en realidad una tabla de multiplicar. En un sistema sexagesimal las tablas de multiplicar tenían que abarcar los números comprendidos entre 1 y 19, así como los números 20, 30, 40 y 50. Más difíciles de descifrar fueron las tablas de recíprocos, que hacían posible la división y los números quebrados: en el sistema sexagesimal, los números recíprocos eran 2:30, 3:20, 4:15, 5:12... y luego, utilizando más posiciones, 8:7,30, 9:6,40, etcétera.^(2.i)

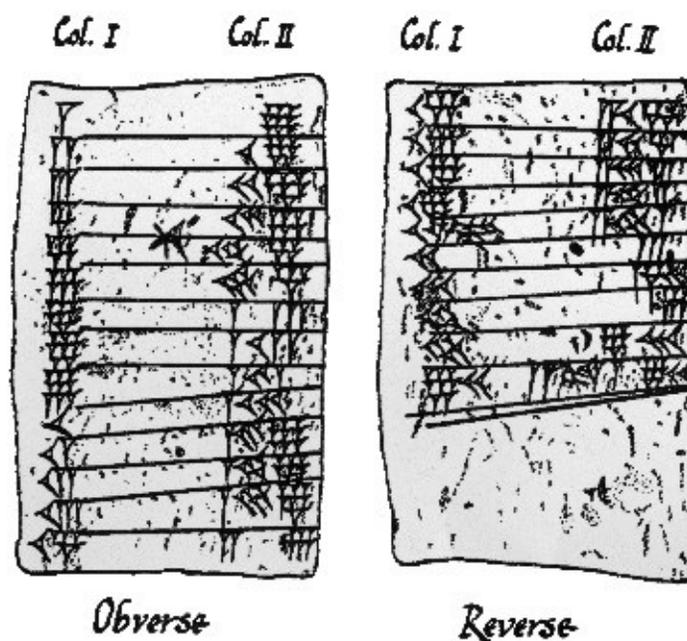


Tabla matemática sobre una tablilla cuneiforme analizada por Asger Aaboe.

Estos símbolos difícilmente eran palabras, o eran palabras muy peculiares, concretas y poco frecuentes. Parecían ordenarse en la arcilla en patrones visibles, repetitivos, casi artísticos, completamente distintos a los textos en prosa o verso que habían descubierto los arqueólogos. Eran como mapas de una ciudad misteriosa. Al final, esta fue la clave para poder descifrarlos: el caos ordenado que parece garantizar la presencia de un significado. En cualquier caso, parecía una labor para matemáticos, y al final lo fue. Los matemáticos identificaron una serie de progresiones geométricas, tablas de potencias e incluso instrucciones para calcular raíces cuadradas y raíces cúbicas. Familiarizados como estaban con la aparición de las matemáticas mil años más tarde en la antigua Grecia, estos especialistas quedaron pasmados ante la envergadura y la profundidad de los conocimientos matemáticos que había habido antes en Mesopotamia. «Se creía que los babilonios habían tenido algún tipo de misticismo de los números o de numerología», escribió Asger Aaboe en 1963, «pero ahora sabemos qué lejos estaba de la realidad esta creencia».^[2.30] Los babilonios calculaban ecuaciones de primer grado (lineales), de segundo grado (cuadráticas) y números primos pitagóricos mucho antes de que lo hiciera Pitágoras. A diferencia de los matemáticos griegos posteriores, los matemáticos babilonios no daban mucha importancia a la geometría, excepto en los problemas prácticos; los babilonios

calculaban áreas y perímetros, pero no se dedicaban a demostrar teoremas. Sin embargo, podían (en efecto) reducir elaborados polinomios de grado 2. Sus matemáticas parecían valorar sobre todo el poder de cómputo.

Eso no pudo apreciarse hasta que «poder de cómputo» comenzó a significar algo. Cuando los matemáticos modernos empezaron a interesarse por Babilonia, ya se habían perdido muchas tablillas importantes, y las que quedaban estaban repartidas por distintos lugares del mundo. Diversos fragmentos hallados en Uruk antes de 1914, por ejemplo, habían acabado en ciudades como Berlín, París o Chicago, y solo al cabo de cincuenta años pudo descubrirse que hablaban de los primeros sistemas de astronomía. Para demostrarlo, Otto Neugebauer, el especialista en historia de las matemáticas más famoso del siglo XX, tuvo que recomponer tablillas cuyos fragmentos se encontraban a uno y otro lado del Atlántico. En 1949, cuando el número de tablillas cuneiformes almacenadas en museos llegaba (según un cálculo aproximado suyo) al medio millón, Neugebauer se lamentó en los siguientes términos: «Así pues, podemos decir sin temor a equivocarnos que nuestra labor consiste en restaurar la historia de las matemáticas a partir de unas cuantas páginas rotas que casualmente han sobrevivido a la destrucción de una gran biblioteca».^[2.31]

En 1972, Donald Knuth, uno de los primeros grandes expertos en ciencias de la informática que por aquel entonces trabajaba en la Universidad de Stanford, observó los restos de una tablilla de la Dinastía I de Babilonia del tamaño de un libro, cuya mitad se encontraba en el Museo Británico de Londres, una cuarta parte en el Staatliche Museen de Berlín y el resto se había perdido, y vio lo que pudo describir solamente como un algoritmo:

- Una cisterna.
- La altura es 3,20, y se ha excavado un volumen de 27,46,40.
- La longitud supera la anchura en 50.
- Hay que tomar el recíproco de la altura, 3,20, y se obtiene 18.
- Multiplícalo por el volumen, 27,46,40, y se obtiene 8,20.
- Toma la mitad de 50, elévalo al cuadrado, y se obtiene 10,25.
- Súmale 8,20, y obtendrás 8,30,25.
- La raíz cuadrada es 2,55.

- Haz dos copias de esto, añadiendo en la primera y restando en la segunda.
- Verás que 3,20 es la longitud y 2,30 la anchura.
- Este es el procedimiento.^[2.32]

«Este es el procedimiento» es la frase con la que, como una bendición, solían acabar este tipo de textos, y que para Knuth tenía un significado muy sugestivo. En el Louvre encontró un «procedimiento» que le recordó un programa de pila de un Burroughs B5500. «Podemos elogiar a los babilonios por haber desarrollado una buena manera para explicar un algoritmo con ejemplos mientras se definía el propio algoritmo», dijo Knuth. Por aquel entonces él también estaba inmerso en el proyecto de definir y explicar el algoritmo; quedó fascinado por lo que había encontrado en aquellas antiguas tablillas. Los escribas daban instrucciones para la colocación de números en determinadas posiciones, para hacer «copias» de un número, y para «memorizar» un número. Esta idea de cantidades abstractas ocupando espacios abstractos no volvería a emerger hasta mucho tiempo después.

¿Dónde hay un símbolo? ¿Qué es un símbolo? Incluso el planteamiento de estas cuestiones exigía una conciencia que no se daba de manera espontánea. Una vez formuladas, estas preguntas siguieron planteándose una y otra vez. *Mirad estos signos*, imploraban los filósofos. ¿*Qué son?*

«Fundamentalmente, las letras son formas que indican sonidos», explicaba Juan de Salisbury en la Inglaterra medieval. «De ahí que representen cosas que nos hacen ver a través de la ventana de los ojos.»^[2.33] John fue secretario y escriba del arzobispo de Canterbury en el siglo XII. Defendió y extendió el conocimiento de la causa de Aristóteles. Su *Metalogicon* no solo explicaba los principios de la lógica aristotélica, sino que instaba a los hombres de su época a convertirse, como si se tratara de una nueva religión. (Juan decía las cosas con claridad, sin subterfugios: «Dejad que el que no adopte la lógica se condene a vivir en la miseria eterna»). Escribiendo en una época de gran analfabetismo, intentó estudiar el acto de escribir y el efecto de las palabras: «Con frecuencia expresan sordamente las declaraciones del ausente». El concepto de escribir

seguía uniéndose al de expresar, hablar. La mezcla de lo visual y el auditorio seguía creando confusiones, al igual que la combinación de pasado y presente: declaraciones del ausente. La escritura cruzaba de un salto estos niveles.

Todos los usuarios de esta tecnología carecían de experiencia. Los que redactaban documentos oficiales legales, como los fueros, las cartas, las cédulas y los acuerdos, sentían a menudo la necesidad de expresar su sensación de estar hablando a un auditorio invisible: «¡Oh, todos vosotros que oiréis y veréis esto!»^[2.34] (Les parecía torpe utilizar el tiempo presente, como aquellos primeros usuarios de los buzones de voz cuando dejaban sus mensajes allá por 1980.) Muchos documentos terminaban con la palabra «Adiós». Antes de que la escritura pudiera percibirse como algo natural, como algo rutinario, tenían que desaparecer estos ecos de una voz. El acto de escribir debía remodelar la conciencia humana.

Entre las numerosas habilidades ganadas por la cultura escrita destacaba la capacidad de interiorización. A los escritores les encantaba discutir sobre lo escrito, mucho más de lo que se preocuparon nunca los bardos por discutir sobre lo dicho. Podían *ver* el medio y sus mensajes, y retenerlos con el ojo de la mente para estudiarlos y analizarlos. Y podían hacer sus críticas, pues, desde un principio, las nuevas habilidades fueron acompañadas de una persistente sensación de pérdida. Era una forma de nostalgia. Platón la percibió:

Es impresionante, Fedro [dice Sócrates] lo que pasa con la escritura, y por lo que tanto se parece a la pintura; sus vástagos están ante nosotros como si tuvieran vida, pero si se les pregunta algo, responden con el más altivo de los silencios [...] Podrías llegar a creer que lo que dice lo están pensando, pero si alguien pregunta, queriendo aprender de lo que dicen, apuntan siempre y únicamente a una misma cosa.^[2.35]

Por desgracia, la palabra escrita permanece invariable. Es estable e inamovible. Los escrúpulos de Platón quedaron a un lado durante el siguiente milenio, mientras la cultura de la escritura desarrollaba sus numerosos dones: la historia y el derecho, las ciencias y la filosofía, la explicación reflexionada del arte y de la propia literatura. Ninguna de estas disciplinas habría podido aparecer de la simple oralidad. La poesía griega pudo, y lo hizo, pero con mucho esfuerzo, y fue un hecho insólito. Crear los poemas épicos de Homero,

transmitirlos, preservarlos en el espacio y en el tiempo requirió la ayuda de buena parte de la energía cultural disponible.

Luego no se echarían muy en falta las palabras desvanecidas de la oralidad primaria. No fue hasta el siglo XX, en plena efervescencia de unos nuevos medios de comunicación, cuando volvieron a aparecer los escrúpulos y la nostalgia. Marshall McLuhan, que se convirtió en el portavoz más célebre de la antigua cultura oral, lo hizo en aras de un argumento de modernidad. Alababa la nueva «era eléctrica» no por su novedad, sino por su regreso a las raíces de la creatividad del hombre. La veía como una recuperación de la antigua oralidad. «En nuestro siglo estamos “rebobinando la cinta”», declaró, encontrando su cinta metafórica en una de las tecnologías de la información más nuevas.^[2.36] Elaboró una serie de confrontaciones sumamente polémicas: la palabra impresa contra la palabra hablada; frío / calor; estático / fluido; neutro / mágico; empobrecido / rico; reglamentado / creativo; mecánico / orgánico; separatista / integrador. «El alfabeto es una tecnología de fragmentación visual y especialidad», escribió. Conduce a «un desierto de informaciones clasificadas». Una manera de enmarcar la crítica que lanza MacLuhan contra la imprenta sería decir que la imprenta ofrece solo un estrecho canal de comunicación. Es un canal lineal e incluso fragmentado. En cambio, la palabra hablada —en el caso primigenio, en la interacción humana cara a cara, vivo con la ayuda de los gestos y el roce— pone en funcionamiento todos los sentidos, no solo el del oído. Si el ideal de la comunicación es una reunión de almas, entonces la escritura es una triste sombra del ideal.

Lanzó las mismas críticas contra otros canales limitados, fruto de tecnologías posteriores: el telégrafo, el teléfono, la radio y el correo electrónico. Jonathan Miller se hace eco de las ideas de McLuhan y las expone en términos de información casi técnicos: «Cuanto más sentidos se impliquen, más posibilidades hay de que se transmita una copia fiable del estado mental del remitente».^(2.37) En el río de palabras que pasa ante nuestra vista o entra en nuestros oídos, percibimos no solo cada uno de los elementos, sino también su ritmo y su tono, lo que es como decir su música. Nosotros, el oyente o el lector, no escuchamos, ni leemos, una palabra a la vez; captamos mensajes en grupos grandes o pequeños de palabras. Siendo lo que es, la memoria humana es capaz de retener mejor las palabras escritas que las habladas. El ojo puede volver a

fijar su atención. McLuhan consideraba este hecho un perjuicio, o al menos una traba. «El espacio acústico es orgánico e integral», decía, «percibido mediante la interacción simultánea de todos los sentidos; aunque sea “racional” o pictórico, el espacio es uniforme, secuencial y continuo y crea un mundo cerrado sin ninguna de las ricas resonancias de la tierra tribal de los ecos».^[2.38] Para McLuhan, la tierra tribal de los ecos es el Edén.

Debido a su dependencia de la palabra hablada para tener y dar información, la gente estaba unida en un engranaje tribal [...] la palabra hablada tiene mucha más carga emocional que la escrita [...] con su sentido del oído y del tacto, los hombres tribales participaban del inconsciente colectivo, vivían en un mundo integral y mágico marcado por el mito y el ritual que tenía unos valores divinos.
(2.ii)

Hasta cierto punto, tal vez sea así. Sin embargo, trescientos años antes, Thomas Hobbes, observando desde la posición ventajosa que suponía conocer las letras en una época en la que la escritura era algo bastante nuevo, había expresado una visión menos halagüeña. Podía ver la cultura anterior a la escritura con mayor claridad: «La vida de los hombres se basaba en la cruda experiencia», escribió. «No había método; esto es, aparte de esas hierbas y plantas comunes que son el error y la conjetura, no se cultivaban los conocimientos por sí mismos.»^[2.39] Un lugar lamentable, que no tenía nada de mágico ni de divino.

¿Tenía razón McLuhan? ¿O la tenía Hobbes? Si nos ponemos en plan ambivalente, la ambivalencia comienza con Platón. Platón fue testigo del poder creciente de la escritura: afirmó su fortaleza y temió su inmovilidad. El filósofo escritor encarnó una paradoja. La misma paradoja estaba destinada a reaparecer con distintos aspectos, pues cada tecnología de la información trae consigo sus propios poderes y sus propios miedos. Resulta que el «olvido» que temía Platón no se produce. No se produce porque el mismísimo Platón —con su mentor, Sócrates, y su discípulo, Aristóteles— concibió un vocabulario de ideas, a las que organizó en categorías, estableció unas normas de lógica y cumplió, así, la promesa de la tecnología de la escritura. Todo ello hizo del saber y de los conocimientos un material mucho más duradero que antes.

Y la palabra era el átomo del conocimiento. ¿Lo era? Durante algún tiempo,

la palabra siguió eludiendo a sus perseguidores, ya fuera como una efímera explosión de sonido, ya fuera como un grupo fijo de signos. «La mayoría de las personas alfabetizadas, cuando tú dices, “Piensa en una palabra”, piensa, al menos de manera vaga, en algo que está ante sus ojos», dice Ong, «un lugar en el que nunca puede haber de verdad una palabra».^[2.40] ¿Dónde, pues, podemos buscar una palabra? En el diccionario, por supuesto. Ong también decía: «Es desmoralizador recordar que en nuestra mente no hay ningún diccionario, ese aparato lexicográfico es un complemento muy tardío del lenguaje».^[2.41]

DOS VOCABLOS

(La inseguridad de nuestra escritura, la inconstancia de nuestras letras)

En esos tiempos tan ajetreados y llenos de actividad, surgen entre los hombres más pensamientos nuevos, que deben ser significados y modificados por medio de nuevas expresiones.^[3.1]

THOMAS SPRAT (1667)

En 1604 un maestro de pueblo y cura a un tiempo escribió un libro con un título inacabable que empezaba: «Tabla alfabética que contiene y enseña la verdadera escritura, y explica los vocablos ingleses arduos, pero usuales».^[3.2] Y a continuación daba otras indicaciones de su finalidad, que era bastante poco habitual y necesitaba alguna explicación:

Con su interpretación en palabras en inglés llano, reunidas para beneficio y ayuda de damas, señoras, o cualesquiera otras personas poco doctas.

Con ella entenderán mejor y con más facilidad muchos vocablos ingleses arduos, que oirán o leerán en las Santas Escrituras, en los sermones y en otros sitios, y asimismo tendrán la facultad de usarlos correctamente.

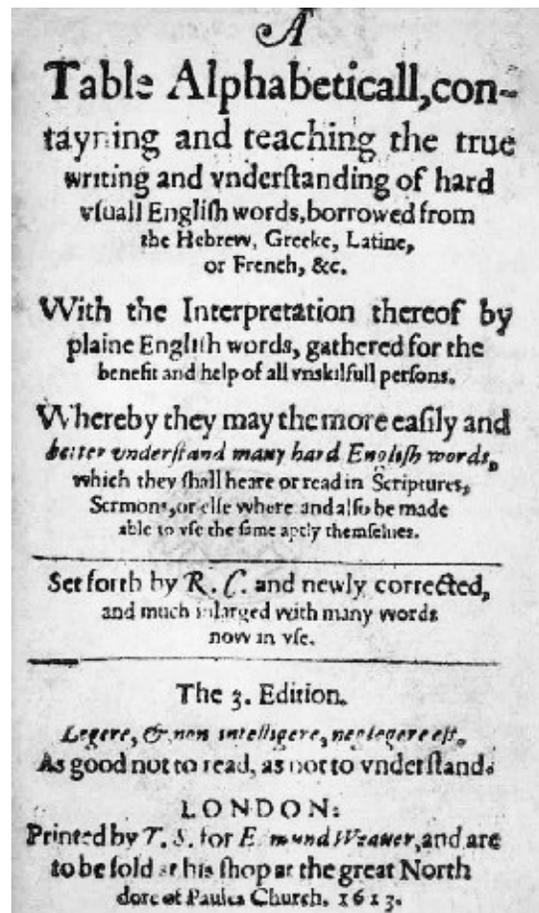
El frontispicio del libro omitía el nombre del autor, Robert Cawdrey, pero incluía una máxima en latín —«Leer y no entender es como no leer»— y situaba a su editor con tanta formalidad y exactitud como cabía esperar en una época en la que la *dirección*, entendida como especificación espacial, todavía no existía:

En Londres, impreso por I. R. para Edmund Weaver, y se venderá en su tienda del gran pórtico norte de la iglesia de San Pablo.

Incluso en las populosas calles de Londres rara vez podían localizarse las tiendas y las viviendas por un número. El alfabeto, sin embargo, tenía un orden concreto —precisamente le daban nombre la primera y la segunda letra—, y ese orden se había conservado desde los primeros tiempos de los fenicios, a través de los subsiguientes préstamos y de la evolución que fue sufriendo.

Cawdrey vivió en una época de suma pobreza en materia de información. Él no lo habría creído así, aun en el caso de que hubiera conocido semejante concepto. Por el contrario, habría considerado que vivía en medio de una verdadera explosión de información, que él mismo intentaba fomentar y organizar. Pero cuatro siglos después, su vida se halla envuelta en la oscuridad de la falta de conocimientos. Su *Tabla alfabética* nos parece un hito en la historia de la información, aunque de toda su primera edición solo se haya conservado para la posteridad una copia muy deteriorada. Sigue sin saberse cuándo y dónde nació el autor; probablemente lo hiciera a finales de la década de 1530 en los Midlands. A pesar de la existencia de archivos parroquiales, las vidas de las personas quedaban casi completamente indocumentadas. Ni siquiera sabe nadie la ortografía correcta de su nombre (¿Cawdrey? ¿Cowdrey? ¿Cawdry?). Pero por lo demás nadie está de acuerdo en cómo se escribe correctamente la mayoría de los nombres propios: los nombres se pronuncian, y rara vez se escriben. En efecto, eran pocos los que tenían el concepto de «ortografía», la idea de que cada palabra, cuando se escribe, debería tener una determinada secuencia de letras fijada de antemano. La palabra inglesa *cony* (conejo) aparecía escrita de varias maneras: *conny*, *conye*, *conie*, *connie*, *coni*, *cuny*, *cunny* y *cunnie* en un mismo folleto de 1591.^[3.3] Otros la escribían de forma distinta. Y a decir verdad el propio Cawdrey, en el frontispicio de su libro que «enseña la verdadera escritura», escribía en una frase *wordes* y en la siguiente *words*. La lengua no funcionaba como un almacén de palabras, del que los usuarios podían sacar los artículos correctos, formados de antemano. Antes bien, las palabras eran fugaces, se escapaban al vuelo, y lo que cabía esperar era que luego se volatilizaran. Una vez pronunciadas, dejaban de estar al alcance de la mano para ser comparadas o cotejadas con otros usos suyos. Cada vez que

alguien mojaba la pluma en la tinta para dar forma sobre el papel a una palabra, escogía de nuevo las letras que le parecían más convenientes para llevar a cabo la tarea. Pero eso iba a cambiar. La existencia —la solidez— del libro impreso dio paso a la idea de que la palabra escrita *debía de tener* una forma concreta, que una forma era correcta y otra incorrecta. Al principio fue una idea inconsciente; pero enseguida empezó a hacerse viva en la conciencia general. Los propios editores hicieron de ella un negocio.



Primera página del libro de Cawdrey.

El término usado en inglés para ortografía, *spelling*, es una antigua palabra germánica que al principio quería decir «hablar» o «expresarse». Luego pasó a significar «leer lentamente», «deletrear». Más tarde, precisamente en torno a los tiempos de Cawdrey, pasó a significar por extensión «escribir las palabras letra a letra». Este último era un uso más o menos poético. «Escribe Eva al revés y tendrás Ave», decía el jesuita y poeta Robert Southwell (poco antes de ser

ahorcado y descuartizado en 1595). Cuando ciertos educadores empezaron a considerar la idea de deletrear las palabras, hablarían de «escribir correctamente» o, tomando prestado un término griego, de *ortografía*. No fueron muchos los que se interesaron por ella, pero uno al que sí que le interesó fue el director de una escuela de Londres, Richard Mulcaster. Compuso una cartilla titulada: «Primera parte [no habría una segunda] del prontuario que trata principalmente de la correcta escritura de nuestra lengua inglesa». Lo publicó en 1582 («en Londres en casa de Thomas Vautroullier, que vive en los dominicos de Ludgate») y contenía una lista de unas ocho mil palabras y una defensa de la idea de confeccionar un diccionario:

Sería una cosa muy loable, en mi opinión, y no menos provechosa que loable, que algún hombre erudito y laborioso reuniera todas las palabras que usamos en nuestra lengua inglesa [...] en un diccionario, y que, además de su escritura correcta, que va en concomitancia con el alfabeto, pusiera a nuestro alcance su fuerza natural y su uso apropiado.^[3.4]

Mulcaster admitía otra motivación: el ritmo acelerado del comercio y de los transportes hacía de otros idiomas una presencia palpable, que obligaba a tener en cuenta que el inglés era una lengua como cualquier otra. «A los extranjeros y a los foráneos les sorprende en nosotros», decía, «la inseguridad de nuestra escritura y la inconstancia de nuestras letras». La lengua ya no era invisible como el aire.

Apenas cinco millones de personas hablaban en el mundo inglés (se trata de un cálculo a grandes rasgos; nadie intentó elaborar un cómputo de los habitantes de Inglaterra, Escocia o Irlanda hasta 1801). Y de ellos apenas un millón sabían escribir. Entre todas las lenguas del mundo la inglesa era ya la más variada, la más diversa, la que más orígenes tenía. Su historia ponía de manifiesto una corrupción constante y un continuo enriquecimiento proveniente del exterior. Sus palabras más antiguas, los términos considerados más básicos, procedían de la lengua hablada por los anglos, los sajones, y los jutos, tribus germánicas que cruzaron el mar del Norte y emigraron a Inglaterra en el siglo V, relegando a los celtas que habitaban anteriormente la isla. No hubo muchos elementos celtas que

penetraran en la lengua de los anglosajones, pero los invasores vikingos trajeron consigo nuevas palabras procedentes del nórdico y el danés: *egg*, *sky*, *anger*, *give*, *get*. El latín llegó a través de los misioneros cristianos; escribían en el alfabeto de los romanos, que sustituyó la escritura rúnica que se había propagado por el centro y el norte de Europa a comienzos del primer milenio. Luego vino la influencia del francés.

Influencia, para Robert Cawdrey, significaba «invasión, inundación». La conquista de los normandos fue, lingüísticamente, más bien un diluvio. Los campesinos ingleses de clase baja continuaron criando *cows*, *pigs* y *oxen* (palabras todas ellas germánicas), pero en el segundo milenio las clases más altas cenaban *beef*, *pork* y *mutton* (términos franceses). En época medieval las raíces francesas y latinas constituían más de la mitad del vocabulario corriente. Llegaron otras palabras más extrañas cuando los intelectuales empezaron a tomar voluntariamente préstamos del latín y del griego para expresar conceptos que hasta entonces la lengua no había necesitado. Cawdrey encontraba semejante costumbre irritante. «Algunos hombres se van tan lejos a buscar un inglés forastero, que olvidan por completo su lengua materna, de modo que si sus madres vivieran no serían capaces de pronunciar ni de entender lo que decían», comentaba en tono de queja. «Podría acusárseles de falsificar el inglés del rey.»^[3.5]

Cuatrocientos años después de que Cawdrey publicara su vocabulario, John Simpson volvió a pisar la senda trazada por él. Simpson era en algunos aspectos su heredero natural: era el editor de un vocabulario más grandioso, el *Oxford English Dictionary*. Simpson, hombre pálido y de voz suave, consideraba a Cawdrey obstinado, intransigente e incluso agresivo. El maestro de escuela fue ordenado diácono y luego sacerdote de la Iglesia de Inglaterra en una época muy agitada, cuando estaba surgiendo el puritanismo. Su actitud no conformista lo llevó a meterse en líos. Parece que fue culpable de «no mostrar conformidad» con algunos sacramentos, como «la Cruz en el Bautismo, y el Anillo en el Matrimonio».^[3.6] A pesar de ser un simple cura de pueblo no se molestaba en inclinarse ante obispos y arzobispos. Predicaba un tipo de igualdad que no era bien vista por las autoridades eclesiásticas. «Se incoó en secreto contra él una Información por pronunciar desde el púlpito palabras contrarias, que pretendían corromper el Libro de Oración Común [...], siendo juzgado así una persona

peligrosa, de haber continuado no ya predicando, sino inficionando al pueblo con principios distintos de los de la religión establecida». A Cawdrey se le retiraron las órdenes sacerdotales y además se le quitó su beneficio, pero él continuó luchando durante años, aunque en vano.

Durante todo aquel tiempo se dedicó a recolectar (*collect*) palabras («**collect**, recolectar, recopilar»). Publicó dos tratados didácticos, uno sobre el catecismo («**catechiser** [‘catequista’], el que enseña los principios de la religión cristiana»), y otro sobre *La buena forma de gobierno doméstico para gestión de las familias particulares*, y en 1604 dio a la imprenta un libro muy distinto: ni más ni menos que una lista de palabras junto con una breve definición de las mismas.

¿Por qué?, dice Simpson. «Ya hemos visto que estaba comprometido con la sencillez en el lenguaje, y que era muy tenaz, hasta un punto rayano en la obstinación». Siguió predicando, pero ahora a los predicadores. «Como por su situación y su vocación (especialmente los predicadores) tienen ocasión de hablar en público ante gente ignorante», afirmaba Cawdrey en su nota introductoria, «deben ser advertidos». Y de advertirlos se encarga él. «No ser nunca afectados ni usar términos extraños sacados del cuerno de la tinta». (El «cuerno de la tinta» era el tintero; con lo de «término sacado del tintero» quería decir vocablo libresco). «Esforzaos en hablar como se hace corrientemente, y de modo que hasta el más ignorante pueda entenderos». Y sobre todo, no había que hablar afectadamente como los extranjeros:

Algunos caballeros muy viajados, cuando vuelven a casa, igual que les encanta andar por ahí con atavíos foráneos, espolvorean su charla con un lenguaje traído de ultramar. El que acaba de llegar de Francia, hablará un inglés afrancesado y no se sonrojará por ello.

Cawdrey no tenía la intención de hacer una lista de *todas* las palabras, al margen de lo que hubiera querido decir con eso. En 1604 William Shakespeare había escrito ya la mayoría de sus obras, empleando un vocabulario cercano a las treinta mil palabras, pero esos términos no estaban al alcance de Cawdrey ni de ningún otro. Cawdrey no se interesaba por las palabras más corrientes, ni por las sacadas del tintero ni por las más afrancesadas; recogía solo las «usuales más arduas». Vocablos lo bastante difíciles como para necesitar alguna explicación, pero, en cualquier caso, «propias de la lengua en la que hablamos» y «fáciles de

entender por todos». Llegó a compilar dos mil quinientos términos. Sabía que muchos derivaban del griego, del francés o del latín («**derive** [‘derivar’], traer de»), y las marcaba en consecuencia. El libro que compuso Cawdrey fue el primer diccionario inglés. En él no aparecía el vocablo *dictionary*.

Aunque no citaba ninguna autoridad, se había basado en otros autores. Copió los comentarios acerca de los «términos sacados del tintero» y de los caballeros muy viajados con sus atavíos foráneos del libro de Thomas Wilson *The Arte of Rhetorique*, que había tenido mucho éxito.^[3.7] Para los vocablos propiamente dichos dispuso de varias fuentes («**source**, ola o salida de agua»). Encontró casi la mitad de sus palabras en una cartilla para aprender a leer llamada *The English Schoole-maister*, de Edmund Coote, que fue publicada por primera vez en 1596 y que conoció múltiples reediciones. Coote afirmaba que un maestro de escuela podía enseñar a cien discípulos más deprisa con su libro que a cuarenta sin él. Consideraba muy útil explicar los beneficios de enseñar a la gente a leer: «Así se traerán más conocimientos a esta tierra y se comprarán más libros que si no se hiciera».^[3.8] El libro de Coote incluía un amplio glosario en el que Cawdrey entró a saco.

Que Cawdrey ordenara alfabéticamente sus palabras para componer su *Tabla alfabética* no era algo que pudiera darse por descontado. Era consciente de que no podía contar ni siquiera con que sus lectores cultos estuvieran versados en el orden del alfabeto, así que intentó elaborar un pequeño manual de instrucciones. Le costó muchísimo trabajo: no sabía si debía describir ese orden en términos lógicos y esquemáticos o, por el contrario, en forma de un método paulatino, un algoritmo. «Amable lector», decía —una vez más adaptando impunemente las palabras de Coote—

debes aprender el alfabeto, esto es el orden que siguen las letras y cómo son, perfectamente, sin libro, y dónde está cada letra: por ejemplo la *b* casi al principio, la *n* más o menos por la mitad, y la *t* hacia el final. Pues bien, si la palabra que deseas buscar empieza por *a*, mira al comienzo de esta Tabla, pero si empieza con *v*, busca hacia el final. Por otra parte, si tu palabra empieza por *ca*, busca al comienzo de la letra *c*, pero si comienza con *cu*, entonces busca hacia el final de esa letra. Y lo mismo con las demás. Etc.

No resultaba fácil de explicar. Fray Juan Balbi de Génova (Johannes Balbus o Johannes Januensis) lo intentó ya en su *Catholicon* de 1286. Balbi pensaba que había sido el primero en inventar el orden alfabético, y sus instrucciones eran muy meticulosas: «Por ejemplo, pretendo estudiar *amo* y *bibo*. Estudiaré *amo* antes que *bibo*, porque *a* es la primera letra de *amo* y *b* es la primera letra de *bibo* y *a* va delante de *b* en el alfabeto. Análogamente...». Y a continuación daba una larga lista de ejemplos y concluía: «Te ruego, pues, buen lector, que no te burles de este gran trabajo mío ni de este orden como si se tratara de algo inútil».

[3.9]

En el mundo antiguo no aparecieron listas alfabéticas hasta aproximadamente 250 a. e. c., en textos papiáceos alejandrinos. Parece que la gran biblioteca de Alejandría utilizó al menos cierto grado de alfabetización para organizar sus libros. La necesidad de un sistema organizativo artificial surge solo con las grandes colecciones de datos, que no pueden ordenarse de otra manera. Y la posibilidad del orden alfabético surge solo en las lenguas que tienen alfabeto: un pequeño conjunto de símbolos discretos que tienen una secuencia convencional propia («**abecedarie** [‘abecedario’], el orden de las letras, o el que las usa»). Semejante sistema no es natural ni siquiera en ese caso. Obliga al usuario a disociar la información del significado; a tratar las palabras estrictamente como cadenas de caracteres; a centrarse de manera abstracta en la configuración de la palabra. Además, el orden alfabético supone un par de procedimientos, uno de los cuales es inverso al otro: organizar una lista y buscar en ella los distintos elementos; clasificar y examinar. Tanto en un sentido como en otro el procedimiento es recursivo («**recourse** [‘recurso’], vuelta o retorno de algo al lugar del que salió»). La operación básica es una decisión binaria: mayor que o menor que. Esta operación se lleva a cabo primero con una letra; luego, asumida como una subrutina, se repite en la siguiente letra; y (como dice Cawdrey, luchando con la dificultad). «Y lo mismo con las demás. Etc.». Ello da paso a una eficacia pasmosa. El sistema alcanza fácilmente cualquier dimensión y la macroestructura es idéntica a la microestructura. Una persona que comprenda el orden alfabético busca en una lista que contenga mil o hasta un millón de elementos cualquiera de ellos sin equivocarse, con absoluta seguridad. Y sin conocer para nada su significado.

Hasta 1613 no se elaboró el primer catálogo alfabético —y no impreso, sino

escrito a mano en dos pequeños manuales— para la Biblioteca Bodleiana de Oxford.^[3.10] El primer catálogo de una biblioteca universitaria, confeccionado en Leiden, Holanda, veinte años antes, fue ordenado por temas, como si dijéramos por signatura topográfica (eran unos cuatrocientos cincuenta libros), sin índice alfabético. De una cosa podía estar seguro Cawdrey: su lector típico, un inglés de comienzos del siglo XVII que sabía leer y escribir y que compraba libros, podía pasarse toda la vida sin enfrentarse a un conjunto de datos ordenados alfabéticamente.

Con anterioridad hubo otras formas más lógicas de ordenar las palabras, que perduraron mucho tiempo. En China lo más parecido a un diccionario fue durante muchos siglos el *Erya*, de autor y fecha desconocidos, aunque probablemente date del siglo III a. e. c. Ordenaba sus dos mil entradas por significados, por categorías temáticas: monarquía, edificios, instrumentos y armas, los cielos, la tierra, plantas y animales. En egipcio se compilaron listas de palabras organizadas según principios filosóficos o didácticos; y lo mismo ocurriría en árabe. Dichas listas ordenaban no ya las palabras propiamente dichas, sino el mundo: las cosas que designaban las palabras. En Alemania, un siglo después de Cawdrey, el filósofo y matemático Gottfried Wilhelm Leibniz establecía explícitamente esa distinción:

Permítaseme recordar que las palabras o los nombres de todas las cosas y de todas las acciones pueden incluirse en una lista de dos maneras distintas, según el alfabeto y según la naturaleza [...] La primera va de la palabra a la cosa, la segunda de la cosa a la palabra.^[3.11]

Las listas temáticas eran juzgadas irritantes, imperfectas y creativas. Las listas alfabéticas eran mecánicas, eficaces y automáticas. Consideradas alfabéticamente, las palabras no son más que fichas, cada una de las cuales entra en una ranura. En realidad, podrían ser también perfectamente números.

El significado entra en el diccionario a través de las definiciones, por supuesto. Los modelos fundamentales de Cawdrey fueron los diccionarios pensados para la traducción, especialmente un *Dictionarium* latino-inglés de Thomas Thomas del año 1587. Un diccionario bilingüe tenía una finalidad más

clara que un diccionario de una sola lengua: trasladar el latín al inglés tenía un sentido que no tenía el hecho de traducir el inglés al inglés. Pero la finalidad en ambos casos eran las definiciones, y al fin y al cabo lo que perseguía Cawdrey, como él mismo afirmaba, era ayudar a la gente a comprender y a usar las palabras difíciles. Abordaba la tarea de definir las palabras con una inquietud que todavía resulta palpable. Aun cuando definiera sus palabras, Cawdrey no acababa de creer del todo en su solidez. Los significados eran todavía más fugaces que la ortografía. *Definir*, para Cawdrey, era algo que tenía que ver con las cosas, no con las palabras: «**define** [‘definir’], mostrar claramente lo que es una cosa». Era la realidad, en toda su riqueza, lo que había que definir. *Interpretar* significaba «abrir, poner en claro, mostrar la esencia y el significado de una cosa». Para él la relación entre la cosa y la palabra era como la relación entre un objeto y su sombra.

Los conceptos relevantes no habían alcanzado todavía la madurez:

figure [«figurar»], delinear, o representar o fingir.

type [«tipo»], figura, ejemplo, imitación de algo.

represent [«representar»], expresar, dar muestras de algo.

Un contemporáneo de Cawdrey algo mayor que él, Ralph Lever, creó su propia palabra: «**saywhat** [“dizque”], erróneamente llamado definición: pero se trata de un dicho que explica lo que es una cosa, y que estaría mejor llamarlo un dizque [*saywhat*]». ^[3.12] Pero no cuajó. Se necesitó casi otro siglo —y los ejemplos de Cawdrey y sus sucesores— para que el sentido moderno pasara a primer plano: «La definición», escribiría finalmente John Locke en 1690, «no es más que hacer a otro entender mediante palabras a qué idea sustituye el término definido». ^[3.13] Y Locke sigue adoptando una perspectiva operacional. La definición es comunicación: hacer a otro entender; enviar un mensaje.

Cawdrey toma prestada la definición de sus fuentes, las combina y las adapta. En muchos casos simplemente cambia una palabra por otra:

orifice [«orificio»], boca.

baud [«alcahueta»], puta.

helmet [«casco»], pieza de la cabeza.

Para un pequeño grupo de palabras utiliza una designación especial, usando la letra *k*: «que viene a decir una especie de [*a kind of*]». No considera que tenga que decir *cuál* es dicha especie. De ese modo:

crocodile [«cocodrilo»], *k* animal.

alabaster [«alabastro»], *k* piedra.

citron [«limón»], *k* fruto.

Pero asociar parejas de palabras, ya sea como sinónimos o como elementos pertenecientes a una misma especie, no lleva al lexicógrafo muy lejos. Las relaciones entre las palabras de una lengua son demasiado complejas para caber en un planteamiento tan lineal («**chaos** [‘caos’], un montón confuso y mezcla de cosas»). A veces Cawdrey intenta salir del paso añadiendo uno o varios sinónimos más, con una definición por triangulación:

specke [«peca»], lunar o marca.

cynicall [«cínico»], perruno, hosco, tozudo.

vapor [«vapor»], vaho, aire, aliento cálido o humeante.

Para otras palabras, que representan conceptos o abstracciones, más alejadas del reino concreto de los sentidos, Cawdrey necesita encontrar un estilo completamente distinto. Y lo crea sobre la marcha. Debe hablar a su lector en prosa, pero no exactamente elaborando frases, y podemos ver cómo se esfuerza por entender determinadas palabras y por expresar lo que él entiende por ellas.

gargarise [«gargarizar»], lavarse la boca y el interior de la garganta pasando algún licor arriba y abajo por la boca.

hipocrite [«hipócrita»], como uno que en su atavío externo, su semblante y su conducta pretende ser otro hombre del que es en realidad, o un embustero.

buggerie [«sodomía»], unión con otro de la misma especie, o de los hombres con los animales.

theologie [«teología»], divinidad, la ciencia de vivir bienaventuradamente para siempre.

Entre los más problemáticos estaban los términos técnicos de las nuevas ciencias:

cypher [«cero»], un círculo en la numeración, sin valor en sí mismo, pero que sirve para formar el número, y para crear otras cifras de mayor valor

horizon [«horizonte»], círculo que divide la mitad del firmamento de la otra mitad que no vemos.

zodiack [«zodiaco»], círculo en el cielo en el que se sitúan los doce signos y por el que se mueve el sol.

No solo las palabras eran cambiantes, sino también el conocimiento. La lengua se examinaba a sí misma. Incluso cuando Cawdrey copia a Coote o a Thomas, se encuentra completamente solo, no tiene ninguna autoridad a la que consultar.

Una de las palabras arduas usuales de Cawdrey era *science* [«ciencia»; según su definición: «conocimiento o habilidad»]. La ciencia todavía no existía como una institución responsable del estudio del universo material y de sus leyes. Los filósofos naturales estaban empezando a mostrar un interés especial por la naturaleza de las palabras y su significado. Necesitaban más medios de los que tenían. Cuando Galileo dirigió su primer telescopio hacia el cielo y descubrió las manchas solares en 1611, inmediatamente dedujo que se produciría una gran controversia —tradicionalmente el sol era la quintaesencia de la pureza— y pensó que la ciencia no podía seguir adelante sin resolver primero un problema

lingüístico:

En efecto, debemos darle [sc. al sol] título de purísimo y brillantísimo, por cuanto no se ha visto nunca en él tiniebla ni impureza alguna; pero cuando se demostrara en parte impuro y manchado, ¿por qué no deberíamos llamarlo manchado y no puro? Los nombres y los atributos deben acomodarse a la esencia de las cosas, y no la esencia a los nombres; porque primero fueron las cosas y luego los nombres. ^[3.14]

Cuando Isaac Newton emprendió su gran proyecto, encontró una falta fundamental de definición allí donde más la necesitaba. Empezó haciendo un juego de manos semántico: «No voy a definir el tiempo, el espacio, el lugar ni el movimiento, pues son bien conocidos de todos», decía engañosamente. ^[3.15] Pero su propósito era precisamente definir esas palabras. No existían patrones comúnmente aceptados de pesos y medidas. *Peso* y *medida* eran en sí mismos términos bastante vagos. El latín parecía más fiable que el inglés, precisamente porque estaba menos ajado por el uso cotidiano, pero los romanos tampoco habían poseído las palabras necesarias. Las anotaciones en sucio de Newton revelan una lucha que no podemos apreciar en el producto acabado. Probó con expresiones como *quantitas materiae*. Demasiado difíciles para Cawdrey: «**materiall** [‘material’], de alguna materia o importancia». Newton, en cambio, proponía [a sí mismo]: «Lo que sale de su densidad y de su masa conjuntamente». Y estudió muchas otras palabras: «La cantidad que designo con el nombre de cuerpo o masa». Al carecer de las palabras correctas, se veía incapaz de seguir adelante: *Velocidad*, *fuerza*, *gravedad*: ninguna de ellas eran todavía apropiadas. No podían ser definidas recíprocamente; no había en la naturaleza visible nada a lo que alguien pudiera señalar con el dedo para indicarla; y no había libro en el que buscarlas.

En cuanto a Robert Cawdrey, su huella en la historia termina con la publicación de su *Tabla alfabética* de 1604. Nadie sabe cuándo murió. Nadie sabe cuántas copias del libro hizo el editor. No existe registro alguno de él («**records** [‘registros’], escritos que se hacen para ser recordados»). Una sola copia llegó no se sabe cómo a la Biblioteca Bodleiana de Oxford, y allí se

conservó. Todas las demás desaparecieron. Una segunda edición vio la luz en 1609, ligeramente aumentada («muy aumentada», se anuncia falsamente en el frontispicio), obra del hijo de Cawdrey, Thomas, y en 1613 y 1617 aparecieron una tercera y una cuarta. Ahí acabó la vida de este libro.

Quedó eclipsado por un nuevo diccionario, dos veces más amplio, *An English Expositour: Teaching the Interpretation of the hardest Words used in our Language, with sundry Explications, Descriptions, and Discourses* («Expositor inglés, que enseña la interpretación de las palabras más arduas usadas en nuestra lengua, con diversas explicaciones, descripciones y discursos»). Su compilador, John Bullokar, dejó por lo demás en la historia una huella tan tenue como Cawdrey.^[3.16] Era doctor en física (esto es médico); vivió durante algún tiempo en Chichester; las fechas de su nacimiento y de su muerte son inseguras; se dice que visitó Londres en 1611 y que allí vio un cocodrilo muerto; y poco más se sabe de él. Su *Expositour* apareció en 1616 y conoció varias reediciones en las décadas inmediatamente posteriores. Más tarde, en 1656 un abogado de Londres, Thomas Blount, publicó su *Glossographia: or a Dictionary, Interpreting all such Hard Words of Whatsoever Language, now used in our refined English Tongue* («Glosografía, o Diccionario que interpreta todas las palabras arduas de cualquier idioma usadas actualmente en nuestra refinada lengua inglesa»). El diccionario de Blount recogía más de once mil vocablos, muchos de los cuales, según él mismo reconocía, eran nuevos y habían llegado a Londres entre el tumulto de las actividades comerciales:

coffa o **cauphe** [«café»], especie de bebida entre los turcos y los persas (y de reciente introducción entre nosotros), que es negra, espesa y amarga, obtenida de unas bayas de esa misma naturaleza y nombre, considerada buena y saludable; dicen que ahuyenta la melancolía.

Otras podían ser de producción nacional, como «**tom-boy** [‘marimacho’], una doncella o moza que corre y brinca como un zagal». Parece que era consciente de que el blanco al que apuntaba era móvil. La «tarea» del autor de un diccionario, decía en el prólogo, «no tendría fin, pues nuestra lengua inglesa cada día cambia de hábitos». Las definiciones de Blount eran mucho más

elaboradas que las de Cawdrey, y además el autor intentaba aportar cierta información acerca del origen de las palabras.

Ni Bullokar ni Blount mencionaban para nada a Cawdrey. El clérigo no conformista ya había sido olvidado. Pero en 1933, a raíz de la publicación del vocabulario más importante, los editores del primer *Oxford English Dictionary* [OED] rindieron homenaje a su «pequeño volumen». Lo denominaron «la bellota original» de la que brotó el grandioso roble de su libro. (Cawdrey: «**akecorne** [‘bellota’], *k* fruto»).

Cuatrocientos dos años después de la aparición de su *Tabla alfabética*, la Unión Astronómica Internacional acordó declarar a Plutón (*Pluto* en inglés) un no planeta, y John Simpson tuvo que tomar una rápida decisión. Junto con su pandilla de lexicógrafos de Oxford estaba trabajando en la letra *P*. *Pletzel* [‘tipo de pan plano judío’], *plish* [‘escupitina’], *pod person* [‘ultracuerpo’], *point-and-shoot* [‘cámara fotográfica compacta’], y *polyamorous* [‘poliamoroso’] eran algunas de las nuevas palabras que estaban a punto de entrar en el OED. El propio artículo para *Pluto* era relativamente nuevo. El planeta no había sido descubierto hasta 1930, demasiado tarde para entrar en la primera edición del diccionario. Primero se propuso para él el nombre Minerva, pero luego fue rechazado porque ya existía un asteroide llamado así. En materia de nombres, en los cielos empezaba a haber multitudes. Fue entonces cuando una niña de once años residente en Oxford, Venetia Burney, propuso el nombre *Pluto* («Plutón»). El OED no tardó en ponerse al día añadiendo la entrada **Pluto** en su segunda edición: «1. Un pequeño planeta del sistema solar situado más allá de la órbita de Neptuno [...] 2. Nombre de un perro de dibujos animados que hizo su primera aparición en la película *Moose Hunt*, de Walt Disney, estrenada en abril de 1931».

«Realmente no nos gusta vernos empujados a hacer megacambios», dijo Simpson, pero no había muchas opciones.^[3.17] El significado del *Pluto* de Disney había demostrado ser más estable que el sentido astronómico del término [«Plutón»], que se había visto degradado a un «pequeño cuerpo planetario». Las consecuencias de todo ello afectaron al OED. *Pluto* fue retirado de la lista *planet n. 3a*. Y el artículo *Plutonian* [«plutonio»] fue revisado (no debía confundirse

con *pluton* [«plutón (término geológico)»], *plutei* [«especie de larvas planctónicas»], o *plutonyl* [«plutonilo»]).

Simpson era el sexto de un distinguido linaje, el de los editores del *Oxford English Dictionary*, cuyos nombres salían fluidamente de sus labios —«Murray, Bradley, Craigie, Onions, Burchfield, es decir los cinco dedos de la mano»— y se consideraba a sí mismo el administrador de sus tradiciones, así como de las tradiciones de la lexicografía inglesa, que se remontaban a Cawdrey a través de Samuel Johnson. James Murray, en el siglo XIX, estableció un método de trabajo basado en fichas, tarjetas rectangulares de 15 × 10 cm. En un momento dado llegó a haber en el escritorio de Simpson mil fichas de ese estilo, y a un tiro de piedra del mismo había millones, en archivos de metal y en cajas de madera, escritas con tinta de hacía dos siglos. Pero las papeletas de ese estilo habían quedado obsoletas. Se habían convertido en *treeware* [«soporte celulosa»]. El término *treeware* acababa de entrar en el *OED* con la apostilla «jerga informática, a menudo en sentido humorístico»; *blog* fue reconocido en 2003, *dot-commer* en 2004, *cyberpet* en 2005, y el verbo *to Google* en 2006. El propio Simpson «googleaba» a menudo. Aparte de las papeletas, en su escritorio había canales que conducían al sistema nervioso del lenguaje: una conexión instantánea con una red mundial de pseudo-lexicógrafos aficionados y acceso a un vastísimo conjunto de bases de datos intercomunicadas que crecían de forma asintótica hacia el ideal de Texto Primigenio. El diccionario había conocido el ciberespacio y nada sería igual en adelante. Por mucho que Simpson amara las raíces y el legado del *OED*, estaba capitaneando una revolución, quisiera o no quisiera, en lo que era, lo que conocía y lo que veía. Allí donde Cawdrey había estado aislado, Simpson estaba conectado.

La lengua inglesa, hablada hoy día por más de mil millones de personas en el mundo, ha entrado en una fase de fermentación y la perspectiva que se tiene en esos venerables despachos de Oxford es reducidísima y amplísima a la vez. La lengua a la que están atentos los lexicógrafos se ha convertido en un idioma salvaje y amorfo: una gran nube turbulenta y en constante expansión de mensajes y discursos; periódicos, revistas, folletos; menús y memorandos de negocios; grupos de noticias por Internet y conversaciones en chat-rooms; emisiones televisivas y radiofónicas y grabaciones discográficas. En cambio, el diccionario propiamente dicho ha adquirido el status de un monumento

definitivo e insuperable. Ejerce una influencia sobre la lengua que intenta observar. Asume ese papel de autoridad a regañadientes. Puede que los lexicógrafos recuerden la centenaria definición que hiciera irónicamente Ambrose Bierce: «**Diccionario**, maléfico invento literario destinado a poner trabas al desarrollo de una lengua y a hacerla dura e inflexible».^[3.18] Actualmente subrayan que no pretenden (o que no se dignan) desaprobando ningún uso ni ninguna forma de escribir en particular. Pero no pueden renunciar a una ambición muy arraigada: el objetivo de llevar a cabo una obra completa. Quieren incluir en el diccionario la totalidad de las palabras, la totalidad del idioma: giros y eufemismos, términos sacros y profanos, muertos o vivos, el inglés del rey y el inglés de la calle. No es más que un ideal: las limitaciones de espacio y de tiempo están siempre presentes y, dicho sea de paso, la cuestión de qué es lo que hace una palabra válida puede resultar imposible de contestar. No obstante, en la medida de lo posible el *OED* se supone que es un registro perfecto, un espejo perfecto de la lengua.

El diccionario ratifica la persistencia de la palabra. Pone de manifiesto que los significados de las palabras proceden de otras palabras. Implica que todas las palabras, globalmente consideradas, forman una estructura interconectada: interconectada porque todas las palabras son definidas en términos de otras palabras. Semejante situación no habría sido nunca un problema en una cultura oral, en la que la lengua apenas es visible. Solo cuando la imprenta —y el diccionario— aísla y pone la lengua de relieve, como un objeto que debe ser analizado, puede la persona desarrollar la idea de significado de la palabra como concepto independiente o incluso circular. Las palabras tienen que ser consideradas palabras, que representan otras palabras además de cosas. En el siglo XX, cuando las tecnologías de la lógica avanzaron hasta alcanzar elevados niveles, el potencial de circularidad se convirtió en un problema. «Para dar explicaciones debo utilizar la lengua en toda su magnitud», se lamentaba Ludwig Wittgenstein.^[3.19] Reflejaba la frustración de Newton tres siglos antes, pero con una vuelta de tuerca más, porque donde Newton quería encontrar palabras para las leyes de la naturaleza, Wittgenstein quería encontrar palabras para las palabras: «Cuando hablo de la lengua (palabras, frases, etc.) debo hablar la lengua cotidiana. ¿Acaso esa lengua es demasiado grosera y material para lo que queremos decir?». Sí. Y además la lengua estaba siempre cambiando.

James Murray hablaba de la lengua y del libro cuando en 1900 decía: «El Diccionario Inglés, como la Constitución Inglesa, no es la creación de ningún hombre ni de ninguna época; es una evolución que se ha desarrollado lentamente a través de los tiempos».^[3.20] La primera edición de lo que sería el *OED* fue uno de los libros más grandes que se habían publicado nunca: *A New English Dictionary on Historical Principles* («Nuevo Diccionario Inglés sobre principios históricos»), cuatrocientas catorce mil ochocientos veinticinco palabras en diez pesados tomos, dedicados al rey Jorge V y al presidente Calvin Coolidge en 1928. La obra había tardado décadas en llevarse a cabo; el propio Murray ya había muerto; y se daba por supuesto que el diccionario estaría ya desfasado cuando sus tomos estuvieran encuadernados. Luego vendrían varios suplementos, pero la segunda edición no apareció hasta 1989: veinte volúmenes con un total de veintidós mil páginas. Pesaba casi setenta kilos. La tercera edición es distinta. No pesa nada, pues pertenece al mundo digital. Nunca más volverá a estar compuesto de papel y tinta. A partir del año 2000 empezó a aparecer online una revisión de todo su contenido en números trimestrales, cada uno de los cuales da cabida a varios millares de artículos revisados y a cientos de palabras nuevas.

Cawdrey había empezado a trabajar de manera bastante natural por la letra A, y lo mismo había hecho James Murray en 1879, pero Simpson prefirió empezar por la M. Tenía mucho recelo de la A. Los que conocían las interioridades de la casa hacía tiempo que sabían que el *OED* en su forma impresa no era una obra maestra en la que las costuras fueran invisibles. Las primeras letras seguían teniendo las cicatrices de la inmadurez e incertidumbres de la obra de los primeros tiempos de Murray. «Básicamente llegó aquí, ordenó sus maletas y empezó a redactar el texto», decía Simpson. «En realidad tardaron mucho tiempo en poner orden en su política y en sus cosas, así que si empezábamos por la A, habríamos hecho que nuestro trabajo resultara el doble de difícil. Creo que se las habrían arreglado muy bien empezando por... bueno, iba a decir por la D, pero Murray solía decir que la E era la peor letra porque su ayudante, Henry Bradley, empezó por la E, y Murray decía siempre que lo había hecho bastante mal. Así que nosotros pensamos, tal vez fuera mejor empezar por la G o la H. Pero si se empieza por la G y la H, luego vienen la I, la J, la K y, ¿sabe usted?, piensa uno, bueno, empecemos por lo que venga después».

Las primeras mil entradas, desde *M* hasta *mahurat* aparecieron online en la primavera de 2000. Un año más tarde, los lexicógrafos llegaron a las palabras que empezaban por *me*: *me-ism* (una religión de la época actual), *med* (forma coloquial de designar los fármacos), *medspeak* (jerga de los médicos), *meet-and-greet* (modalidad norteamericana de evento social), y una gran variedad de formas combinadas con *media* (magnate de los medios, circo mediático, favorito de los medios, espectáculo mediático, experto en medios) y *mega-* (pixel, zorra, dosis, hit, tendencia). Eso ya no era una lengua hablada por cinco millones de habitantes de una pequeña isla, casi todos ellos iletrados. Al tiempo que el *OED* revisaba sus artículos letra a letra, empezaba también a añadir neologismos allí donde surgían; con la esperanza de que la secuencia alfabética dejara de resultar práctica. De ese modo, un número de 2001 vio la llegada de *acid jazz*, *Bollywood*, *channel surfing*, *double-click*, *emoticon*, *feel-good*, *gangsta*, *hyperlink*, y muchas más. *Kool-Aid* fue reconocida como nueva palabra, no porque el *OED* se sintiera obligado a incluir marcas registradas (el refresco en polvo Kool-Ade había sido patentado en los Estados Unidos en 1927), sino debido a un uso existente desde hacía ya largo tiempo que no podía ser ignorado: «Beber Kool-Aid: demostrar obediencia o lealtad ciegas». La evolución de esta expresión en concreto desde que se empleó un refresco en polvo para un envenenamiento masivo perpetrado en Guayana en 1978 indicaba cierta densidad de comunicación global.

Pero los lexicógrafos de Oxford no son esclavos de la moda. Como norma, un neologismo necesita cinco años de evidencias sólidas para ser admitido en el canon. Todas las palabras propuestas son sometidas a un riguroso análisis. La aprobación de una palabra nueva es una cosa solemne. Tiene que ser de uso general, más allá de cuál sea en concreto su lugar de origen; el *OED* es global, y reconoce palabras de todos los sitios en los que se habla inglés, pero no desea reflejar peculiaridades locales. Una vez añadida, una palabra no puede salir de él. Una palabra puede hacerse obsoleta o rara, pero hasta las más antiguas y olvidadas pueden encontrar la forma de reaparecer —siendo redescubiertas o reinventadas espontáneamente— y en cualquier caso forman parte de la historia de la lengua. Las dos mil quinientas palabras de la *Tabla alfabética* de Cawdrey están naturalmente en el *OED*. De treinta y cinco de ellas el librito de Cawdrey era el primer uso conocido. Y en el caso de unas pocas es el único que se

conoce. Todo ello resulta un tanto fastidioso. El *OED* está irrevocablemente comprometido. Cawdrey, por ejemplo, incluye «**onust** [“onusto”], cargado, pesado»; y también el *OED* dice «cargado, pesado», pero se trata de una rareza, un hápax, un caso único. ¿Lo inventó Cawdrey? «Me inclino a pensar que intentaba reproducir un vocabulario que había escuchado o visto en alguna parte», decía Simpson. «Pero no puedo tener la absoluta seguridad». Cawdrey recoge «**hallucinate** [‘alucinar’], engañar o cegar»: y el *OED* daba «engañar» como primer sentido de la palabra, aunque no se encontrará nunca a nadie que use la palabra de esa forma. En casos como estos, los editores pueden añadir su doble advertencia: «*Obsoleto, raro*». Pero el caso es que ahí están.

Para el *OED* del siglo XXI una sola fuente nunca es suficiente. Es curioso, teniendo en cuenta la enormidad de la empresa y del público al que va dirigido, que algunos hombres y mujeres se empeñen en ver ratificadas por el *OED* sus «construcciones ad hoc» (*nonce word*). El término *nonce word* fue acuñado de hecho por el propio James Murray. Y se salió con la suya. Una psicóloga americana, Sondra Smalley, acuñó la palabra *codependency* («codependencia») en 1979 y empezó a promocionarla durante los años ochenta; los editores acabaron redactando un artículo del diccionario en los noventa, cuando consideraron que la palabra estaba ya bien asentada. W. H. Auden afirmó que deseaba ser reconocido como el creador de una palabra del *OED*, y finalmente lo fue, por introducir *motted*, *metalogue*, *spitzzy* y otras.^[3.21] De ese modo el diccionario se vio envuelto en un circuito de realimentación. Inspiró en los usuarios y creadores de la lengua una sinuosa autocomplacencia. Anthony Burgess se quejó en una publicación de su incapacidad de imponerse: «Hace unos años inventé la palabra *amation*, para designar el arte o el acto de hacer el amor, y creo que sigue siendo útil. Pero debo convencer a otros de que la utilicen *en alguna publicación* para hacerla elegible para su lexicografización (si es que existe semejante palabra)». Sabía que no existía.^[3.22] «La gran autoridad de T. S. Eliot consiguió que lo que en mi opinión es una palabra vergonzosa, *juvescence*, entrara en el último volumen del Suplemento». Burgess estaba más que seguro de que Eliot simplemente había escrito mal el término *juvescence*. En tal caso, el error ortográfico fue copiado o tomado en préstamo veintiocho años después por Stephen Spender, de modo que *juvescence* cuenta así con dos citas. El *OED* reconoce que es una palabra rara.

Por más que el *OED* se empeñe en encarnar la fluidez de la lengua, no puede dejar de hacer el papel de agente de su cristalización. El problema de la ortografía plantea unas dificultades peculiares. Se supone que el diccionario debe incluir «todas las formas en que una palabra ha aparecido a lo largo de su historia».^[3.23] De ese modo para *mackerel* («un popular pez marino, *Scomber scombrus*, muy usado en alimentación [‘caballa’]») la edición de 1989 citaba diecinueve formas alternativas de escritura. Pero el hallazgo de fuentes no acaba nunca, y así el artículo correspondiente a la edición revisada de 2002 reseñaba ni más ni menos que treinta versiones distintas: *maccarel*, *mackaral*, *mackarel*, *mackarell*, *mackerell*, *mackeril*, *mackreel*, *mackrel*, *mackrell*, *mackril*, *macquerel*, *macquerell*, *macrel*, *macrell*, *macrelle*, *macril*, *macrill*, *makarell*, *makcaral*, *makerel*, *makerell*, *makerelle*, *makral*, *makrall*, *makreill*, *makrel*, *makrell*, *makyrelle*, *maquerel*, y *maycril*. Al igual que los lexicógrafos, los editores tampoco se atreverían nunca a decir que estas alternativas son errores: faltas de ortografía. No desean declarar que la forma de escribir la palabra que han escogido para el lema, *mackerel*, es la «correcta». Hacen hincapié en que analizan las evidencias y eligen la «forma de escribir más corriente por lo general». Aun así, entran en juego consideraciones arbitrarias: «El estilo de la casa propio de Oxford ocasionalmente tiene preferencia, como sucede con los verbos que pueden acabar en *-ize* o *-ise*, en los que se utiliza siempre la forma *-ize*». Saben que por mucho que protesten y rechacen firmemente poseer una autoridad normativa, el lector recurrirá siempre al diccionario para ver cómo debe escribirse una palabra. No pueden evitar incurrir en incoherencias. Se ven obligados a incluir palabras que hacen estremecerse a los puristas. Una nueva entrada de diciembre de 2003 inmortalizaba *nucalar*: = «nuclear *a.* (en sus diversos sentidos)». Sin embargo se niegan a computar errores flagrantes de imprenta encontrados a través de búsquedas por Internet. No reconocen *straight-laced* [«puritano, encorsetado»] aunque los testimonios estadísticos demuestren que esta forma considerada bastarda es mucho más frecuente que *strait-laced*. Para la cristalización de una grafía el *OED* ofrece una explicación convencional: «Desde la invención de la imprenta, la ortografía se ha vuelto mucho menos variable, en parte debido a que los impresores buscaban la uniformidad y en parte al creciente interés por el estudio de la lengua durante el Renacimiento». Eso es verdad. Pero se pasa por alto el papel del propio diccionario, árbitro y

ejemplo.

Para Cawdrey el diccionario era una foto instantánea; no era capaz de ver más allá de sus narices en el tiempo. Samuel Johnson fue más consciente explícitamente de la dimensión histórica del diccionario. Justificaba su ambicioso proyecto en parte como un medio de poner bajo control una cosa salvaje (esa cosa salvaje era la lengua), «que, al tiempo que era utilizada para el cultivo de todo tipo de literatura, hasta ahora ha sido desatendida; ha sufrido para propagarse, bajo la dirección de la fortuna, en una exuberancia salvaje; se ha sometido a la tiranía del tiempo y de la moda; y se ha visto expuesta a las corrupciones de la ignorancia y los caprichos de la innovación».^[3.24] Pero hasta la aparición del *OED* la lexicografía no intentó mostrar la imagen completa de una lengua a lo largo del tiempo. El *OED* se convierte así en un panorama histórico. El proyecto adquiere mayor patetismo si la edad de la electrónica se concibe como una nueva edad de la oralidad, en la que la palabra se libera de las cadenas de la fría imprenta. Ninguna institución editorial encarna mejor esas cadenas que el *OED*, pero este al mismo tiempo intenta romperlas. Los editores creen que ya no pueden esperar a que una nueva palabra aparezca en una publicación impresa, por no hablar de un libro respetablemente encuadernado, para que ellos se vean obligados a tomar nota de su existencia. Para *tightywhities* (calzoncillos), introducida en 2007, citan como fuente un texto mecanografiado en slang de los estudiantes de Carolina del Norte. Para *kitesurfer*, citan un correo enviado al grupo de noticias de Usenet alt. kite y luego un periódico de Nueva Zelanda encontrado a través de una base de datos online. Cosas sueltas por el aire.

Cuando Murray empezó a trabajar en el nuevo diccionario, la idea era encontrar las palabras y con ellas los indicadores de su historia. Nadie sabía cuántas palabras había por encontrar. Hasta entonces el mejor diccionario de inglés y también el más completo era americano: el de Noah Webster, con setenta mil palabras. Era un punto de partida. ¿Dónde podían encontrarse las demás? Para los primeros editores de lo que sería el *OED*, ni que decir tenía que la fuente, el manantial del que todo surgía, debía ser la literatura de la lengua, en particular los libros distinguidos y de calidad. Los primeros lectores del

diccionario se dedicaron a escudriñar a Milton y a Shakespeare (todavía el autor más citado, con más de treinta mil referencias), Fielding y Swift, historias y sermones, filósofos y poetas. Murray anunciaba en un famoso llamamiento público de 1879:

Se buscan mil lectores. La literatura de finales del siglo XVI está ya bastante vista; pero quedan aquí todavía muchos libros por leer. Naturalmente el siglo XVII, con sus escritores aún más numerosos, nos ofrece todavía más territorio sin explorar.

A su juicio, ese territorio era grande, pero limitado. Los fundadores del diccionario pretendían explícitamente encontrar todas las palabras, por muchas que acabaran siendo. Pretendían elaborar un inventario completo. ¿Y por qué no? El número de los libros era desconocido, pero no ilimitado, y el número de las palabras que hubiera en esos libros era computable. La tarea podía parecer formidable, pero era finita.

Hoy día ya no parece finita. Los lexicógrafos van aceptando ya la infinitud de la lengua. Se saben de memoria el famoso comentario de Murray: «El círculo de la lengua inglesa tiene un centro bien definido, pero no una circunferencia discernible». En el centro están las palabras que todos conocen. En los extremos, donde Murray situaba el argot y la jergonza, el lenguaje científico y los extranjerismos, la idea de la lengua que tiene cada uno es diferente y no puede considerarse «estándar» la de nadie.

Murray calificaba el centro de «bien definido», pero también en él pueden verse la infinitud y la bruma. Las palabras más fáciles y las más corrientes —las que Cawdrey no tenía la menor intención de incluir en su librito— exigen en el *OED* los artículos más extensos. Solo el artículo de *make* («hacer») llenaría todo un libro: distingue noventa y ocho acepciones distintas del verbo, y algunas de ellas tienen hasta una docena de subacepciones. Samuel Johnson se dio cuenta del problema que planteaban esas palabras y estableció una solución: se llevó las manos a la cabeza horrorizado.

Mi tarea se ha visto acrecentada en gran medida por una clase de verbos demasiado frecuentes en la lengua inglesa, el significado de los cuales es tan vago y general, su uso tan impreciso e indeterminado, y sus acepciones figuradas tan alejadas de la primaria, que resulta muy difícil seguir su pista por el laberinto de la

variación, pillarlos al borde de la pura vacuidad, circunscribirlos con todo tipo de limitaciones, o interpretarlos por medio de palabras de significado distinto y aceptado: tales verbos son *bear, break, come, cast, full, get, give, do, put, set, go, run, make, take, turn, throw*. Si no se recoge cuidadosamente todo su potencial, se debe tener presente que, como nuestra lengua sigue viva y cambia por el capricho de todo el que la habla, estas palabras están cambiando a cada momento sus relaciones, y no pueden ser definidas en un diccionario más de lo que puede ser dibujado cuidadosamente un bosque en medio de una tormenta a partir de su imagen reflejada en el agua.

Johnson tenía cierta razón. Son estas unas palabras que cualquier hablante de inglés podría hacer suyas en cualquier momento, en cualquier ocasión, solo o con otros, por propia iniciativa o no, con la esperanza de ser comprendido. En cada nueva revisión del *OED*, el artículo de una palabra como *make* vuelve a subdividirse y se hace mayor. La tarea es ilimitada en el sector menos alejado del centro.

El tipo más evidente de infinitud lo vemos en los márgenes. Los neologismos no cesan. Las palabras pueden ser acuñadas por un comité: *transistor*, Laboratorios Bell, 1948. O por cualquier bromista: *booboisie*, H. L. Mencken, 1922. La mayoría surge por generación espontánea, y los nuevos organismos aparecen en una placa de Petri, como, por ejemplo, *blog* (ca. 1999). A una de las últimas hornadas corresponden *agroterrorism, bada-bing, bahookie* (una parte posterior de la anatomía), *beer-pong* (un juego de bebedores), *bippy* (como en la frase «puedes apostar tu...»), *chucklesome, cypherpunk, tuneage, o wonky*. Ninguna de estas palabras son lo que Cawdrey habría considerado «usuales y arduas», y tampoco ninguna se encuentra cerca del centro bien definido de Murray, pero actualmente pertenecen al lenguaje corriente. Incluso *bada-bing* [«patapam»]: «Expresión usada para indicar que algo sucede de forma repentina, dramática, o con facilidad y previsiblemente. ‘¡Ya está!’ ‘¡Patapam!’». Las citas históricas comienzan con la grabación de una actuación del cómico americano Pat Cooper y continúan con recortes de periódico, la transcripción de un noticiario televisivo, y una frase del diálogo de la primera parte de la película *El Padrino*: «Tienes que levantarte más o menos así y... ¡Bada-bing! Te encuentras con los sesos desparramados por tu bonito traje de la Ivy League». Los lexicógrafos proporcionan además una etimología, que es un exquisito ejemplo de conjetura: «Origen incierto. Quizá por imitación del sonido de un tambor y el

entrechocar de unos platillos. O quizá del italiano *bada bene*, ‘¡Ten mucho cuidado!’».

La lengua inglesa ya no tiene nada que pueda denominarse un centro geográfico, si es que lo tuvo alguna vez. El universo del discurso humano tiene siempre lugares recónditos y atrasados. La lengua hablada en un valle difiere de la que se habla en el vecino, etc. Ahora hay más valles que nunca, aunque esos valles no estén aislados. «Prestamos oído a la lengua», decía Peter Gilliver, un lexicógrafo del *OED* e historiador. «Cuando se presta oído a la lengua coleccionando trozos de papel, estupendo; pero ahora es como si pudiéramos oír todo lo que se dice en cualquier parte. Cojamos una comunidad de expatriados que viva en una parte del mundo donde no se habla inglés, unos expatriados que vivan en Buenos Aires o lo que sea. Su inglés, el inglés que hablan entre sí a diario, está lleno de préstamos del español de la zona. Y considerarán esas palabras una parte de su idiolecto, de su vocabulario personal». Solo que ahora podemos hablar también en chat rooms y en blogs. Cuando se acuña una palabra en ellos, puede oírse todo el mundo. Y entonces puede convertirse —o puede que no— en parte de la lengua.

Si hay un límite último a la sensibilidad de los oídos de los lexicógrafos, todavía no lo ha encontrado nadie. Las creaciones espontáneas pueden tener un público de una sola persona. Pueden ser tan efímeras como las partículas atómicas en una cámara de burbujas. Pero muchos neologismos requieren cierto nivel de conocimientos culturales compartidos. Quizá *bada-bing* no hubiera entrado realmente a formar parte del inglés del siglo XXI si no hubiera sido por la experiencia común de los espectadores de una determinada serie televisiva norteamericana (aunque no lo cite el *OED*).

Todo el tesoro de palabras de una lengua —el léxico— constituye el conjunto de símbolos de esa lengua. Es el conjunto de símbolos fundamental en un sentido muy concreto: las palabras son las primeras unidades de significado que reconoce cualquier lengua. Son reconocidos universalmente. Pero en otro sentido ese mismo conjunto dista mucho de ser fundamental: a medida que evoluciona la comunicación, los mensajes en una lengua pueden ser descompuestos y compuestos otra vez y transmitidos en otros conjuntos de

símbolos mucho más pequeños: el alfabeto; puntos y rayas; golpes de tambor en tono alto y bajo. Esos juegos de símbolos son discretos. El léxico no lo es. Es más lioso. No deja de incrementarse. La lexicografía acaba siendo una ciencia muy poco apta para llevar a cabo una medición exacta. Puede decirse a grandes rasgos que el inglés, la lengua de mayores dimensiones y la más ampliamente compartida del mundo, posee una cantidad de unidades de significado que se aproximan al millón. Los lingüistas no tienen sus propios metros patrones especiales; cuando intentan cuantificar el ritmo de los neologismos, tienden a buscar la guía del diccionario, y hasta el mejor diccionario se quita de encima esa responsabilidad. Los extremos son siempre borrosos. No puede trazarse una línea divisoria clara entre la palabra y lo que no es palabra.

Así que contamos como sabemos. El librito de Robert Cawdrey, que no tenía pretensiones de ser una obra completa, contenía un vocabulario de solo dos mil quinientas palabras. Hoy día poseemos un diccionario de inglés más completo de lo que lo era este idioma en torno al año 1600: el subconjunto del *OED* correspondiente a las palabras corrientes en aquella época.^[3.25] Ese vocabulario es de sesenta mil palabras y no deja de aumentar, pues los descubrimientos de fuentes del siglo XVI no acaban nunca. Aun así, es una pequeñísima fracción de las palabras usadas cuatro siglos más tarde. La explicación de ese crecimiento explosivo, de sesenta mil a un millón, no es sencilla. Muchas de las cosas que en la actualidad hay que nombrar no existían todavía, por supuesto. Y muchas de las que existían no eran reconocidas. En 1600 no había designación alguna para el *transistor*, ni para el *neobacterium*, ni la *webcam*, ni el *fen-phen*. Parte de ese crecimiento se ha producido por mitosis. La guitarra se subdivide en eléctrica y acústica; otras palabras se dividen en reflejos de delicados matices (en marzo de 2007 el *OED* asignó un nuevo lema a *prevert* como una forma distinta de *pervert*, asumiendo la idea de que *prevert* no era un mero error de ortografía, sino un efecto humorístico deliberado). Otras palabras nuevas aparecen sin que exista la correspondiente innovación en el mundo de las cosas reales. Cristalizan en el disolvente de la información universal.

¿Qué demonios es un *mondegreen*? Es la percepción errónea de la letra de una canción, como cuando, por ejemplo, el himno cristiano «Lead on, O King Eternal...» («¡Abre la marcha, oh rey eterno...!») se entiende «Lead on, O kinky turtle...» («¡Abre la marcha, oh tortuga viciosa...!»). Al examinar los

testimonios, el *OED* cita en primer lugar un artículo de Sylvia Wright de 1954 para el *Harper's Magazine*: «Lo que en adelante llamaré *mondegreens*, pues a nadie más se le ha ocurrido otra palabra para designarlos».^[3.26] En dicho artículo explicaba la idea y la palabra de la siguiente manera:

Cuando era una niña, mi madre solía leerme en voz alta poemas de las *Reliquias* de Percy, y uno de mis favoritos empezaba, si no recuerdo mal, de la siguiente manera:

¡Oh montes! ¡Y vosotros, prados!
¡Oh! ¿Dónde habéis estado?
¡Mataron al conde Amurray!
¡y a Lady Mondegreen!^[3.i]

Ahí estaba la palabra. O lo estuvo por algún tiempo. Veinticinco años después, William Safire estudió el vocablo en una columna sobre lengua en *The New York Times Magazine*. Al cabo de quince años, Steven Pinker, en su libro *The Language Instinct*, ofrecía unos cuantos ejemplos, desde «A girl with colitis goes by» hasta «Gladly the crosseyed bear»^[3.ii]. Y observaba: «Lo interesante de los *mondegreens* es que los errores de percepción generalmente son *menos* plausibles que los versos que se pretenden reproducir».^[3.27] Pero no fueron los libros ni las revistas los que dieron vida a la palabra; fueron los sitios de Internet, que compilaron *mondegreens* a millares. El *OED* reconoció el término en junio de 2004.

Un *mondegreen* no es un transistor, algo esencialmente moderno. Su modernidad resulta más difícil de explicar. Sus ingredientes —canciones, palabras y los errores de percepción— son tan viejos como la civilización. Pero para que los *mondegreens* aparecieran en la cultura y para que la palabra *mondegreen* entrara en el vocabulario, se necesitaba algo nuevo: un nuevo nivel de autoconciencia y de interconexión lingüística. La persona tenía que entender mal la letra de una canción no ya una vez, no ya varias veces, sino un número suficiente de veces para ser consciente de que el error de percepción era algo que valía la pena tener en cuenta. Y tenía que haber otras personas con las que compartir el descubrimiento. Hasta los tiempos más recientes, los *mondegreens*, como tantísimos otros fenómenos culturales o psicológicos, simplemente no

necesitaban tener nombre. La palabra *lyrics*, que significa «letra de canción», no existió hasta el siglo XIX. Las condiciones para que hubiera mondegrens tardaron largo tiempo en madurar. Análogamente el verbo *to gaslight* [«hacer luz de gas»] significa actualmente «manipular a una persona por medios psicológicos para que ponga en tela de juicio su cordura»; esa acepción existe solo porque ha habido un número suficiente de personas que han visto la película de 1944 *Luz de gas* y que han podido suponer que sus interlocutores también la habían visto. ¿Acaso no habría tenido cabida en la lengua que hablaba Cawdrey —que al fin y al cabo no era más que la rica y fértil lengua de Shakespeare— el uso de una palabra semejante? No importa: la tecnología necesaria para la luz de gas (*gaslight*) todavía no había sido inventada. Como tampoco había sido inventada la tecnología necesaria para hacer películas.

El léxico es una medida de la experiencia compartida que se basa en la interconexión. El número de usuarios de una lengua forma solo la primera parte de la ecuación: el salto de cuatro siglos que va de los cinco millones de hablantes de inglés a los mil millones. El factor impulsor es el número de conexiones existentes entre esos hablantes. Un matemático podría decir que la capacidad de enviar mensajes aumenta no ya en progresión geométrica, sino combinatoriamente, y eso implica mucha, mucha más rapidez. «Yo lo imagino como un cazo debajo del cual han aumentado la potencia del fuego», decía Gilliver. «Cualquier palabra, debido a la interconexión del mundo de habla inglesa, puede aparecer en un lugar recóndito. Y seguirá habiendo lugares recónditos, pero ahora poseen esa conexión instantánea con el discurso normal y cotidiano». Como ocurriera anteriormente con la imprenta, el telégrafo, y el teléfono, Internet transforma la lengua simplemente transmitiendo información de una forma distinta. Lo que hace al ciberespacio diferente de todas las tecnologías de la información anteriores es que combina las escalas, desde las más grandes a las más pequeñas, sin causar ningún perjuicio, que emite noticias a millones de personas, que pone en comunicación a grupos más pequeños, y que envía mensajes personales instantáneos.

Todo ello constituye una consecuencia inesperada de la invención de la maquinaria de computación electrónica. Y al principio todo esto parece que tenía que ver con los números.

VOLCAR LOS PODERES DEL PENSAMIENTO EN UN DISPOSITIVO MECÁNICO

(He aquí al aritmético extasiado)

Se ha extraído una luz casi solar de los desechos del pescado; el fuego ha sido domeñado por la lámpara Davy; y a la maquinaria se le ha enseñado aritmética en vez de geometría.^[4.1]

CHARLES BABBAGE (1832)

Nadie dudaba de que Charles Babbage era un hombre brillante. Y tampoco nadie entendía muy bien la naturaleza de su genio, que permaneció durante mucho tiempo lejos de la atención general. ¿Qué esperaba conseguir? O mejor dicho, ¿cuál era exactamente su vocación? A su muerte, acaecida en Londres en 1871, el autor de su obituario en *The Times* lo declaró «uno de los pensadores originales más originales y activos», pero daba la sensación de que sobre todo era conocido por su dilatada y excéntrica cruzada contra los músicos y organilleros de la calle.^[4.2] A él probablemente no le habría importado. Era muy polifacético y estaba orgulloso de serlo. «Sentía un gran deseo de investigar las causas de las cosas que asombran a las mentes infantiles», decía un panegirista americano. «Destripaba juguetes para descubrir la manera que tenían de funcionar.»^[4.3] Babbage no era en realidad un hombre de su tiempo, que se llamaba a sí mismo la Edad del Vapor o la Era de las Máquinas. A Babbage le encantaba utilizar el vapor y la maquinaria y se consideraba a sí mismo un hombre perfectamente moderno, pero cultivaba

además muchísimos tipos de aficiones y obsesiones —descifrar jeroglíficos, forzar cerraduras, los faros, los anillos de crecimiento de los troncos de los árboles, el correo—, cuya lógica se aclararía un siglo después. Estudiando la economía postal, hizo un descubrimiento contraintuitivo, a saber que el coste más importante de los envíos de paquetes de papel viene determinado no ya por el transporte físico, sino por su «verificación» —esto es el cálculo de las distancias y el cobro de las cuotas adecuadas— y así inventó la moderna idea de las tarifas postales estandarizadas. Le encantaba pasear en barca, que él no concebía como «el esfuerzo manual de remar, sino el arte más intelectual de navegar».^[4.4] Era un entusiasta de los trenes. Inventó un dispositivo de registro ferroviario que utilizaba plumas entintadoras para trazar una serie de curvas sobre hojas de papel de trescientos metros de longitud: una mezcla de sismógrafo y velocímetro, que registraba el historial de velocidad de un tren y todos los botes y sacudidas que se producían a lo largo del trayecto.

De joven, habiendo parado en una ocasión en una fonda del norte de Inglaterra, encontró muy divertido que sus compañeros de viaje se dedicaran a discutir a qué ramo del comercio se dedicaba:

«Ese caballero alto del rincón», me dijo mi informador, «sostenía que estaba usted en el negocio de la quincallería, mientras que el caballero gordo que se hallaba sentado a su lado durante la cena estaba bastante seguro de que se dedicaba al comercio de licores. Otro miembro del grupo aseguraba que estaban todos equivocados: decía que viajaba usted al servicio del dueño de una gran acerería».

«Bueno», repliqué yo. «Supongo que usted conocía mi ocupación mejor que nuestros amigos».

«Sí», contestó mi informador, «yo sabía perfectamente que pertenecía usted al ramo de los encajes de Nottingham».^[4.5]

Podrían haberle calificado de matemático de profesión, pero en aquellos momentos se dedicaba a recorrer las fábricas y los talleres del país, intentando descubrir los tipos más modernos de herramientas mecánicas. En sus anotaciones registró el siguiente comentario: «Los que gozan de tiempo libre difícilmente podrían encontrar una actividad más interesante e instructiva que el estudio de los talleres y fábricas de su propio país, que contienen en su interior

una auténtica mina de conocimientos, demasiado desatendidos en general por las clases más acomodadas».^[4.6] Él desde luego no descuidaba ningún tipo de conocimiento. Se convirtió en todo un experto en la manufactura de los encajes de Nottingham; y también en el uso de la pólvora en las canteras de caliza; en el corte de precisión del vidrio con diamante; y en todos los usos conocidos de maquinaria para producir energía, ahorrar tiempo, y efectuar comunicaciones de señales. Analizó prensas hidráulicas, bombas de aire, contadores de gas, y terrajas. Al final de su gira sabía más que cualquier otra persona en Inglaterra sobre la fabricación de alfileres. Su conocimiento era práctico y metódico. Calculaba que medio kilo de alfileres necesitaba el trabajo de diez hombres y mujeres durante al menos siete horas y media, tensando, enderezando y afilando el alambre, enroscando y cortando las cabezas de los rollos, estañando y blanqueando el producto, y finalmente envolviéndolo. Calculó el coste de cada fase en millonésimas de penique.^[4.7] Y anotó que todo este proceso, una vez perfeccionado, tenía los días contados: un americano había inventado una máquina automática para realizar la misma tarea más deprisa.

Babbage inventó su propia máquina, un grandioso aparato resplandeciente de latón y peltre, formado por millares de manivelas y rotores, dientes y ruedas dentadas, todo ello elaborado con la mayor precisión. Pasó toda su larga vida perfeccionándola, al principio en una primera y luego en una segunda encarnación, y todo ello, principalmente, lo hizo dentro de su cabeza. La máquina nunca llegó a realizarse en ninguna otra parte. Ocupa, por tanto, un lugar extremo y singularísimo en los anales de la invención: un fracaso y, al mismo tiempo, uno de los logros intelectuales más grandes de la humanidad. Fue un fracaso de dimensiones colosales como proyecto científico-industrial «a expensas de la nación, para ser conservado como propiedad nacional»,^[4.8] financiado por el Tesoro durante casi veinte años, desde 1823 con una partida presupuestaria del Parlamento de 1.500 libras, hasta 1842, cuando el Primer Ministro la suprimió. Luego la máquina de Babbage fue olvidada. Desapareció de la genealogía de los inventos. Más tarde, sin embargo, fue redescubierta y llegó a gozar de mucha influencia y respeto, brillando como una luz llegada desde el pasado.

Al igual que los telares, las forjas, las fábricas de clavos y de vidrio que estudió en el curso de sus viajes por el norte de Inglaterra, la máquina de

Babbage estaba destinada a elaborar enormes cantidades de un determinado producto. Y ese producto eran números. Su máquina abrió un conducto entre el mundo corporal de la materia y el mundo de la pura abstracción. La máquina no consumía ninguna materia prima —su combustible y el resultado de su producción eran ingrátidos—, pero requería una cantidad considerable de energía para mover sus engranajes. Todos esos dispositivos mecánicos habrían llenado una habitación entera y habrían pesado varias toneladas. Producir números, tal como lo concebía Babbage, exigía un grado de complejidad mecánica al límite mismo de la tecnología existente en aquellos momentos. Los alfileres eran cosa fácil, comparados con los números.

No era natural concebir los números como un producto manufacturado. Existían en la mente o como una abstracción ideal, en su infinitud perfecta. Ninguna máquina podía aumentar las reservas del mundo. Se suponía que los números producidos por la máquina de Babbage eran los que tenían importancia: eran números con significado. Por ejemplo, 2,096910013 tiene un significado, como logaritmo de 125. (Si *todos* los números tenían o no significado sería un verdadero enigma para el siguiente siglo). El significado de un número podía expresarse como una relación con otros números, o como la respuesta a una determinada cuestión de aritmética. Babbage no hablaba propiamente en términos de significado; intentó explicar su máquina de manera pragmática, en términos de meter unos números en ella y ver cómo salían otros o, de forma un poquito más imaginativa, en términos de plantear cuestiones a la máquina y esperar a que respondiera. De una forma o de otra, le costó mucho hacer entender lo que quería decir. Se quejaba en los siguientes términos:

En dos ocasiones me han preguntado: «Perdone, señor Babbage, si mete usted en la máquina cifras equivocadas, ¿saldrán las respuestas correctas?». En una ocasión me planteó la cuestión un miembro de la Cámara Alta y en otra un miembro de la Cámara Baja. Realmente no soy capaz de entender qué tipo de confusión de ideas pudo inducir a nadie a hacer semejante pregunta.^[4.9]

En cualquier caso, no se pretendía que la máquina fuera una especie de oráculo, susceptible de ser consultada por individuos que llegaran de todos los confines en busca de respuestas matemáticas. La principal misión de la máquina era imprimir números en masa. Para su portabilidad, los hechos de la aritmética

podían expresarse en tablas y encuadernarse en libros.

A Babbage el mundo le parecía que estaba hecho de realidades de ese estilo. Eran las «constantes de la Naturaleza y del Arte». Él las recolectaba por doquier. Compiló una Tabla de las Constantes de la Clase Mamíferos:^[4.10] allá donde iba medía la frecuencia de la respiración y los latidos de cerdos y vacas. Inventó una metodología estadística con tablas de esperanza de vida para el mundo, por lo demás siniestro, de los seguros de vida. Elaboró una tabla del peso en granos Troy por metro cuadrado de diversos tejidos: batista, calicó, nanquín, muselina, gasa de seda, y «velos de oruga». Otra tabla ponía de manifiesto la frecuencia relativa de todas las combinaciones de letras dobles en inglés, francés, italiano, alemán, y latín. Investigó, computó y publicó una Tabla de la Frecuencia Relativa de las Causas de que se rompan las Ventanas de Vidrio Plano, enumerando cuatrocientas sesenta y cuatro motivos distintos, de los cuales ni más ni menos que en catorce intervenían «borrachos, mujeres o niños». Pero las tablas que más quería eran las más puras: tablas de números y nada más que números, que desfilaban claramente por las páginas en filas y columnas majestuosas, modelos de apreciación abstracta.

Un libro de números. En la especie de la tecnología de la información, ¡qué objeto tan peculiar y potente es! «¡He aquí al aritmético extasiado!», escribió Élie de Joncourt en 1762. «Fácil de satisfacer, no pide encajes de Bruselas, ni una carroza ni seis.»^[4.11] La aportación de Joncourt fue un pequeño volumen en cuarto que recogía los primeros diecinueve mil novecientos noventa y nueve números triangulares. Era un prodigio de exactitud, perfección y cálculo minucioso. Estos números eran muy sencillos, simplemente la suma de todos los primeros números n : 1, 3 (1+2), 6 (1+2+3), 10 (1+2+3+4), 15, 21, 28, etc., etc. Habían despertado el interés de los teóricos de los números desde Pitágoras. No tenían mucha utilidad, que digamos, pero Joncourt se entusiasmaba hablando del placer que sentía compilándolos y Babbage lo citaría con sincera simpatía: «Los números tienen muchos encantos, que no ven los ojos vulgares, y que solo se descubren a los infatigables y respetuosos hijos del Arte. ¡Qué dulce alegría pueden suscitar esas contemplaciones!».

Las tablas de números han formado parte del negocio de los libros desde

antes incluso de que empezara la edad de la imprenta. Allá por el siglo IX en Bagdad, Abu Abdullah Mohammad Ibn Musa al-Khwarizmi, cuyo nombre ha sobrevivido en el término *algoritmo*, inventó unas tablas de funciones trigonométricas que llegaron por el oeste hasta Europa y por el este hasta China, escritas a mano y copiadas también a mano durante cientos de años. La imprenta puso a las tablas de números en su sitio: eran una primera aplicación natural para la producción masiva de datos sin más. Para las personas que tenían necesidad de la aritmética, las tablas de multiplicar cubrían cada vez más territorio: 10×1.000 y luego 10×10.000 y luego hasta 1.000×1.000 . Había tablas de cuadrados y de cubos, de raíces y de recíprocos. Una forma inicial de tabla fueron las efemérides o almanaques, en las que se registraban las posiciones del sol, la luna y los planetas para los observadores de los cielos. Los comerciantes descubrieron otros usos de los libros de números. En 1582 Simon Stevin publicó unas *Tafelen van Interest*, un compendio de tablas de interés para banqueros y prestamistas. Dedicó la nueva aritmética decimal «a los astrólogos, agrimensores, medidores de tapices y toneles y cultivadores de la estereometría en general, a los acuñadores de moneda y a todos los comerciantes».^[4.12] Y podría haber añadido a los marinos. Cuando Cristóbal Colón zarpó hacia las Indias, llevó consigo como ayuda para la navegación un libro de tablas de Regiomontano editadas en Nuremberg veinte años después de la invención de los tipos móviles en Europa.

El libro de Joncourt sobre los números triangulares era más puro que cualquiera de esas tablas: lo que significa que era más inútil. Cualquier número triangular, el que sea, puede encontrarse (o crearse) mediante un algoritmo: multiplicando n por $n + 1$ y dividiendo por 2. Así, pues, todo el compendio de Joncourt, como conjunto de información destinado a ser almacenado y transmitido, se viene abajo con un ligero soplo ante una fórmula sencillísima. La fórmula contiene toda la información. Con ella, cualquiera que sea capaz de hacer una simple multiplicación (por entonces no había tantos que lo fueran) podía generar el número triangular que se le pidiera. Joncourt lo sabía. No obstante, tanto él como su editor, M. Husson, de La Haya, consideraron útil poner las tablas en una plancha de tipos de metal, a tres pares de columnas por página, cada pareja de las cuales contenía treinta números naturales junto con sus correspondientes números triangulares, desde el 1 (1) al 19.999

(199.990.000), siendo escogido individualmente cada dígito por el cajista entre sus cajas de tipos metálicos, alineado en una galera y acoplado en una plancha de acero que era colocada sobre la imprenta.

¿Por qué? Aparte de la obsesión y el entusiasmo, los creadores de las tablas de números tenían una idea del valor económico que representaban. Consciente o inconscientemente, evaluaban el precio de esos datos especiales comparando la dificultad de tener que calcularlos con la posibilidad de cotejarlos en un libro. Precomputación más almacenamiento de datos más transmisión de datos habitualmente salía más barato que una computación ocasional. Ya existían «computadoras» y «calculadoras»: eran personas que tenían unas capacidades especiales y, en resumidas cuentas, computar resultaba caro.

A partir de 1767, la Junta de Longitud ordenó la publicación de un *Almanaque náutico* anual, con tablas de posición del sol, la luna, las estrellas, los planetas y las lunas de Júpiter. Durante los cincuenta años siguientes se encargó de llevar a cabo esa labor una red de computadores, treinta y cuatro hombres y una mujer, Mary Edwards, de Ludlow, Shropshire, que trabajaban todos en su propia casa.^[4.13] Su meticuloso trabajo era remunerado con setenta libras al año. La computación era una industria casera (*cottage industry*). Se necesitaba cierto sentido matemático, pero tampoco era imprescindible ningún genio especial; las reglas eran establecidas paso a paso para cada tipo de cálculo. En cualquier caso los computadores, como humanos que eran, cometían errores, de modo que el mismo trabajo era encargado a dos personas distintas como medida de seguridad. (Por desgracia, como humanos que eran, se descubrió que los computadores a veces se copiaban unos a otros con el fin de ahorrarse trabajo). Para manejar todo el flujo de información el proyecto empleaba a un Comparador de Efemérides y a un Corrector de Pruebas. La comunicación entre los computadores y el comparador se realizaba por correo, confiado a hombres a pie o a lomos de caballo, y cada mensaje tardaba en llegar varios días.

Hubo un invento del siglo XVII que catalizó toda la empresa. Este invento era a su vez una especie de número, al que se había dado el nombre de *logaritmo*. Era un número concebido como instrumento. Henry Briggs lo explicaba de la siguiente manera:

Los logaritmos son unos números inventados para dar una mayor facilidad a la

realización de problemas de aritmética y geometría. Su nombre deriva de *logos*, que significa *razón*, y *arithmos*, que significa *número*. Gracias a ellos se evitan todas las molestas multiplicaciones y divisiones de la aritmética, y se ejecutan solo mediante la adición en vez de la multiplicación, y mediante la sustracción en vez de la división.^[4.14]

En 1614 Briggs era catedrático de geometría —el primer catedrático de geometría— del Gresham College de Londres, cuna más tarde de la Royal Society. Sin utilizar los logaritmos había confeccionado ya dos libros de tablas, una *Tabla para hallar la altura del polo, habiéndose dado la declinación magnética* y unas *Tablas para la mejora de la navegación*, cuando llegó de Edimburgo un libro que prometía «eliminar todas las dificultades que hasta el momento ha habido en los cálculos matemáticos».^[4.15]

No hay nada, mis queridos estudiantes de matemáticas, que resulte tan enojoso para la práctica de la matemática, que moleste y dificulte más a los calculadores que las multiplicaciones, divisiones, extracciones cuadradas y cúbicas de grandes números, que, aparte del tedioso gasto de tiempo, son en su mayor parte causa de que se deslicen en ellas numerosos errores.

Este nuevo libro proponía un método que acabaría con la mayoría de ese gasto y de esos errores. Era como un destello de luz eléctrica enviado a un mundo sin luz. Su autor era un acaudalado escocés, John Napier (o Napper, Nepair, Naper o Neper), octavo lord de Merchiston Castle, teólogo y astrólogo famoso, que además había hecho un hobby de las matemáticas. Briggs estaba emocionadísimo. «Naper, lord de Markinston, ha puesto a trabajar mi cerebro y mis manos», escribía. «Espero conocerlo este verano, si Dios quiere, pues nunca he visto un libro que me haya gustado más ni que me haya causado más asombro.»^[4.16] Hizo una peregrinación a Escocia y su primer encuentro, según relataría más tarde, empezó con un cuarto de hora de silencio: «Lo pasamos observándonos uno a otro con admiración antes de pronunciar palabra alguna».^[4.17]

Briggs fue el primero en romper el hielo: «Milord, he emprendido este largo viaje con el propósito de veros personalmente y saber por qué mecanismo de la inteligencia o del ingenio se os ha llegado a ocurrir esta excelentísima ayuda para la astronomía, verbigracia los logaritmos; pero, Milord, una vez que los

habéis descubierto, me pregunto cómo no los había descubierto nadie antes, siendo una cosa tan fácil cuando se sabe». Pasó varias semanas en casa del caballero escocés estudiando.

En términos modernos un logaritmo es un exponente. Un estudiante aprende que el logaritmo de 100, usando como base 10, es 2, porque $100 = 10^2$. El logaritmo de 10.000.00 es 6, porque 6 es el exponente en la expresión $10.000.000 = 10^6$. Para calcular dos números, un calculador solo tenía que mirar arriba, ver sus logaritmos y sumarlos. Por ejemplo:

$$100 \times 1.000.000 = 10^2 \times 10^6 = 10^{(2+6)}$$

Mirar arriba y sumar es más fácil que multiplicar.

Pero Napier no expresaba su idea de esta forma, esto es en términos de exponentes. La entendía de manera visceral: pensaba en términos de una relación entre diferencias y razones. Una serie de números con una diferencia fija es una progresión aritmética: 0, 1, 2, 3, 4, 5, ... Cuando esos números están separados por una razón fija, la progresión es geométrica: 1, 2, 4, 8, 16, 32, ... Compárense estas dos progresiones:

0 1 2 3 4 5 ... (logaritmos en base 2)

1 2 4 8 16 32 ... (números naturales)

y el resultado es una tabla de logaritmos rudimentaria; rudimentaria porque los exponentes en números enteros son los fáciles. Una tabla útil de logaritmos tenía que rellenar las lagunas, con una exactitud de muchos decimales.

Napier tenía en su mente una analogía: las diferencias son a las razones lo que la suma a la multiplicación. Su pensamiento pasaba de un plano a otro, de las relaciones espaciales a los puros números. Alineando estas escalas una al lado de otra, proporcionaba al calculador unos medios prácticos de convertir la multiplicación en suma, pasando, de hecho, de una tarea difícil a otra más fácil. En cierto modo, el método es una especie de traducción o de codificación. Los números naturales están codificados como logaritmos. El calculador solo tiene que buscarlos en una tabla, el descodificador. En este nuevo lenguaje, el cálculo resulta fácil: suma en vez de multiplicación, o multiplicación en vez de potenciación. Cuando el trabajo está hecho, el resultado se traduce de nuevo al lenguaje de los números naturales. Por supuesto Napier no podía pensar en

términos de codificación.

Briggs revisó y aumentó el número necesario de secuencias y publicó su propio libro, *Aritmética logarítmica*, llena de aplicaciones prácticas. Junto a los logaritmos presentaba tablas de latitud de la declinación del sol año por año; mostraba cómo encontrar la distancia entre dos lugares cualesquiera, una vez conocidas su respectiva latitud y su respectiva longitud; y elaboró una guía de las estrellas con sus declinaciones, distancia al polo, y ascensión recta. Algunos de estos trabajos representaban un conocimiento nunca compilado hasta entonces y otros eran conocimiento oral pasado a la imprenta, como podía verse en los nombres no del todo formales de los astros: *Estrella Polar*, *Cinturón de Andrómeda*, *Ventre de la Ballena*, *la [estrella] más brillante de la lira*, o *la primera de la cola de la Osa Mayor cerca del lomo*.^[4.18] Briggs estudiaba además cuestiones de finanzas, ofreciendo una serie de reglas para el cálculo con interés, con carácter activo y retroactivo. La nueva tecnología suponía un verdadero hito: «Cabe señalar también aquí que apenas se conocía la utilidad por día de cien libras a un interés del 8, el 9 o el 10, o lo que sea al año hasta que se descubrieron los logaritmos: pues sin ellos es preciso hacer tantos laboriosos ejercicios de extracción de raíces, que costarían más trabajo de lo que pueda valer el conocimiento obtenido».^[4.19] El conocimiento tiene un valor, y un descubrimiento un coste, y cada uno debe ser tenido en cuenta y sopesado debidamente.

Incluso este descubrimiento tan interesante tardó varios años en llegar a manos de Johannes Kepler, que lo utilizó para perfeccionar sus tablas celestiales en 1627, basadas en los datos laboriosamente compilados por Tycho Brahe. «Ha hecho su aparición en escena un barón escocés (su nombre se me ha olvidado) que ha hecho una cosa excelente», escribía Kepler a un amigo, «convirtiendo todas las multiplicaciones y las divisiones en sumas y restas».^[4.20] Las tablas de Kepler eran mucho más precisas —quizá treinta veces más— que cualquiera de sus predecesoras medievales, y la precisión hizo posible una cosa absolutamente nueva, a saber, su armonioso sistema heliocéntrico, en el que los planetas giran alrededor del sol en órbitas elípticas. Desde ese momento hasta la aparición de las máquinas electrónicas, la mayor parte de la computación humana se ha llevado a cabo por medio de logaritmos.^[4.21] Un maestro de Kepler comentó en tono despectivo: «No es propio de un catedrático de matemáticas manifestar una

alegría infantil solo por el hecho de que hayan hecho más fácil el cálculo». [\[4.22\]](#)
Pero ¿por qué no? A lo largo de los siglos todos sintieron la misma alegría a la hora de hacer cálculos: Napier y Briggs, Kepler y Babbage, al confeccionar sus listas, al construir sus torres de razones y proporciones, perfeccionando sus mecanismos para convertir números en números. Y luego el comercio mundial revalidó su placer.

Natural Numbers	Logarithms Base 2
1	0
2	1
3	1,5850
4	2
5	2,3219
6	2,5850
7	2,8074
8	3
9	3,1699
10	3,3219
11	3,4594
12	3,5850
13	3,7004
14	3,8074
15	3,9069
16	4
17	4,0875
18	4,1699
19	4,2479
20	4,3219
21	4,3923
22	4,4594
23	4,5236
24	4,5850
25	4,6439
26	4,7004
27	4,7549
28	4,8074
29	4,8580
30	4,9069
31	4,9542

32	5
33	5,0444
34	5,0875
35	5,1293
36	5,1699
37	5,2095
38	5,2479
39	5,2854
40	5,3219
41	5,3576
42	5,3923
43	5,4263
44	54594
45	5,4919
46	5,5236
47	5,5546
48	5,5850
49	5,6147
50	5,6439

Charles Babbage había nacido el día de san Esteban de 1791, casi al final del siglo que comenzó con Newton. Su casa estaba en la ribera sur del Támesis en Walworth, Surrey, por entonces todavía una aldea rural, aunque el Puente de Londres estaba a menos de media hora de paseo incluso para un niño pequeño. Era hijo de un banquero, que por su parte era hijo y nieto de orfebres. En el Londres de la infancia de Babbage, la Era de las Máquinas se había dejado sentir por doquier. Una nueva raza de empresarios hacía ostentación de la maquinaria en las exposiciones. Los espectáculos que atraían a más gente eran los que tenían autómatas, muñecos mecánicos, ingeniosos y delicados, en los que ruedas dentadas y piñones imitaban la vida misma. Charles Babbage fue con su madre al Museo Mecánico de John Merlin, en Hanover Square, lleno de mecanismos de cuerda y cajas de música y, lo que resultaba más interesante, simulacros de objetos vivos. Un cisne de metal inclinaba su cuello para pescar un pececillo también de metal, movido por palancas y motores ocultos. En el taller del artista, situado en el ático, Charles vio un par de bailarinas desnudas que caminaban de puntillas y hacían reverencias; estaban talladas en plata y tenían un tamaño de aproximadamente un quinto del natural. El propio Merlin, su anciano creador, decía que había dedicado años a estas máquinas, sus favoritas, todavía inacabadas. Una de las figuritas impresionó especialmente a Charles por su gracia y aparente vivacidad. «Aquella damisela adoptaba posturas de una modo

fascinante», recordaría más tarde. «Sus ojos estaban llenos de imaginación y eran irresistibles.»^[4.23] En efecto, cuando era ya un hombre de más de cuarenta años, encontró la bailarina de plata de Merlin en una subasta y la compró por treinta y cinco libras, la colocó en un pedestal en su casa, y cubrió su desnudez con elegantes vestidos hechos a medida.^[4.24]

Al niño le gustaban también las matemáticas, un interés muy alejado de las artes mecánicas, al parecer. Fue un autodidacta que aprendió con las cosas que fue encontrando en los libros que llegaron a sus manos. En 1810 ingresó en el Trinity College de Cambridge, el reino de Isaac Newton y centro moral todavía de las matemáticas en Inglaterra. Babbage se sintió enseguida decepcionado: descubrió que ya sabía más sobre las últimas novedades que sus profesores, y los conocimientos ulteriores que necesitaba no podía encontrarlos allí; quizá ni siquiera pudiera encontrarlos en ningún otro lugar de Inglaterra. Empezó a comprar libros extranjeros, especialmente libros de la Francia de Napoleón, con la que Inglaterra estaba en guerra. En una librería especializada de Londres consiguió la *Théorie des fonctions analytiques* de Lagrange, y «la gran obra de Lacroix, el *Cálculo diferencial e integral*».^[4.25]

Tenía razón: en Cambridge las matemáticas estaban estancadas. Un siglo antes, Newton había sido apenas el segundo catedrático de Matemáticas que había habido en la universidad; toda la fuerza y el prestigio de la materia provenían de su legado. Ahora su grandiosa sombra pesaba sobre los matemáticos ingleses como una maldición. Los estudiantes más adelantados estudiaban sus brillantes y esotéricas «fluxiones» y las pruebas geométricas de sus *Principia*. En manos de otro que no fuera Newton, los viejos métodos de la geometría no podían producir más que frustración. Sus singulares formulaciones del cálculo no hicieron ningún bien a sus herederos. Estos habían quedado cada vez más aislados. El profesorado inglés «consideraba cualquier intento de innovación un pecado contra la memoria de Newton», decía un matemático del siglo XIX.^[4.26] Si buscaba las últimas corrientes de la matemática moderna, un estudiante tenía que ir a buscarlas a otra parte, en la Europa continental, en el «análisis» y en el lenguaje de la diferenciación inventado por el rival y vengador de Newton, Gottfried Wilhelm Leibniz. Fundamentalmente no había más que un cálculo. Newton y Leibniz sabían cuán similares eran sus obras, lo bastante como para que cada uno acusara al otro de plagio. Pero habían inventado unos

sistemas incompatibles de notación —diferentes lenguajes— y en la práctica esas diferencias superficiales eran más importantes que la igualdad que se ocultaba tras ellas. Al fin y al cabo, los símbolos y los operadores son los elementos con los que tiene que trabajar un matemático. A diferencia de la mayoría de los estudiantes, Babbage adquirió una gran fluidez en ambos lenguajes —«los puntos de Newton y las *d* de Leibniz— y comprendió que había visto la luz».^[4.27] «Siempre resulta difícil pensar y razonar en una lengua nueva».^[4.28]

En efecto, también la lengua lo atrajo como objeto apropiado de estudio filosófico, y de hecho de vez en cuando la cultivó tangencialmente. Pensar sobre la lengua cuando se piensa *con* la lengua da lugar a muchos rompecabezas y paradojas. Durante algún tiempo Babbage intentó inventar o construir una lengua universal, un sistema de símbolos libre de idiosincrasias e imperfecciones locales. No fue el primero en intentarlo. El propio Leibniz había asegurado que estaba a punto de lograr una *characteristica universalis* que había de dar a la humanidad «un nuevo tipo de instrumento que acrecienta los poderes de la razón mucho más de lo que cualquier instrumento óptico haya ayudado nunca a la facultad de la vista».^[4.29] Cuando los filósofos se enfrentaban a la multiplicidad de dialectos del mundo, a menudo veían el lenguaje no como un recipiente perfecto en el que guardar la verdad, sino como un colador lleno de agujeros. La confusión en torno a los significados de las palabras daba lugar a contradicciones. Las ambigüedades y las falsas metáforas no eran desde luego algo inherente a la naturaleza de las cosas, sino que surgían de una mala elección de los signos. ¡Ojalá pudiera encontrarse una tecnología mental adecuada, un verdadero lenguaje filosófico! Sus símbolos, elegidos adecuadamente, debían ser universales, transparentes e inmutables, sostenía Babbage. Trabajando sistemáticamente, logró crear una gramática y empezó a componer un diccionario, pero encalló al chocar con el problema del almacenamiento y la recuperación de los datos, frenado «por una aparente imposibilidad de organizar los signos en un orden consecutivo que permitiera encontrar, como si fuera en un diccionario, el significado de cada uno cuando se quisiera».^[4.30] No obstante, pensaba que el lenguaje era algo que una persona podía inventar. Idealmente, el lenguaje debía ser racionalizado, convertido en algo previsible y mecánico. Había que encajar los engranajes.

Cuando todavía era un estudiante, se propuso lograr un nuevo resurgimiento de las matemáticas inglesas, motivo más que suficiente para la fundación de un grupo de apoyo y para el lanzamiento de una cruzada. Se unió a otros dos estudiantes prometedores, John Herschel y George Peacock, para formar lo que llamaron la Sociedad Analítica, cuya finalidad era la propagación de las «*d*» y la abolición de «la herejía de los puntos», o, como decía Babbage, «la Edad del Punto de la Universidad».^[4.31] (Le encantaba aquel «pícaro juego de palabras» suyo).^(4.i) En su campaña en pro de liberar al cálculo de la chochez o Edad del Punto inglesa, Babbage lamentaba «la nube de disputa y acrimonia nacional que se ha arrojado sobre su origen». No importaba que pareciera francesa, afirmaba: «Tenemos ahora que importar de nuevo lo foráneo, con casi un siglo de mejoras por parte de los extranjeros, y hacerlo una vez más nuestro aquí».^[4.32] Los miembros de la nueva sociedad se rebelaban contra Newton en el corazón del país de Newton. Se reunían a desayunar cada domingo después del oficio en la capilla.

«Naturalmente éramos ridiculizados por los profesores», recordaría Babbage. «Se insinuó malévolamente que éramos unos jóvenes infieles, y que no saldría nada bueno de nosotros». Pero su labor de evangelización funcionó: los nuevos métodos se difundieron de abajo arriba, y los estudiantes los aprendieron con más rapidez que sus profesores. «Muchos moderadores de Cambridge levantaron las cejas, en parte con ira y en parte con admiración, ante las insólitas respuestas que empezaron a aparecer en los exámenes», escribió Herschel.^[4.33] Los puntos de Newton desaparecieron de escena y sus fluxiones fueron sustituidas por la notación y el lenguaje de Leibniz.

Mientras tanto, a Babbage no le faltaron nunca compañeros con los que beber tranquilamente vino o jugar al *whist* a seis peniques el punto. Junto con un grupo de amigos fundó el Club del Fantasma, dedicado a reunir pruebas a favor y en contra de los espíritus ocultos. Con otro grupo fundó un club llamado Los Extractores, supuestamente encargado de resolver las efusiones de sensatez o de cordura según una serie de procedimientos preestablecidos:

1. Cada miembro comunicará su dirección al secretario una vez cada seis meses.
2. Si esta comunicación se retrasa más de doce meses, se dará por supuesto

que sus parientes lo han encerrado por loco.

3. Se hará toda clase de esfuerzos legales e ilegales para sacarlo del manicomio [de ahí el nombre «Extractores»].
4. Todo candidato a la admisión como miembro deberá presentar seis certificados. Tres de que está cuerdo y otros tres de que está loco.^[4.34]

Pero la Sociedad Analítica era seria. No había nada de ironía, sino absoluta seriedad, en la resolución tomada por estos tres matemáticos amigos, Babbage, Herschel y Peacock, de «hacer cuanto estuviera en su mano por salir de este mundo dejándolo más sabio de lo que era cuando lo encontraron». Se alquilaban habitaciones y se leían artículos unos a otros y publicaron sus «Transacciones». Y cierto día en una de esas habitaciones, mientras Babbage daba cabezadas ante un libro de logaritmos, uno de los amigos le interrumpió diciendo: «Bueno, Babbage, ¿en qué sueñas?».

«Estaba pensando que todas estas Tablas podrían ser calculadas un día por máquinas», respondió.^[4.35]

En cualquier caso así es cómo Babbage reprodujo la conversación cincuenta años después. Todo buen invento necesita la historia de su eureka, y por si acaso él tenía otra de reserva. Herschel y él colaboraron en confeccionar unas tablas de logaritmos para la Sociedad Astronómica de Cambridge. Esos mismos logaritmos ya habían sido calculados antes; los logaritmos tienen que ser calculados y vueltos a calcular una y otra vez, y hay que compararlos y aceptarlos con desconfianza. No es de extrañar que Babbage y Herschel, mientras trabajaban en su manuscrito en Cambridge, encontraran tedioso su trabajo. «¡Ojalá estos logaritmos hubieran sido ejecutados a vapor!», exclamó Babbage. Herschel se limitó a contestar: «Pues podría hacerse perfectamente».

El vapor era el propulsor de todas las máquinas, la energía que posibilitaba el desarrollo de la industria. Aunque solo fuera durante unas décadas, el término se convirtió en sinónimo de energía y fuerza y de todo lo que fuera vigoroso y moderno. Antes, el agua y el viento eran las fuerzas que movían los molinos, y la mayor parte del trabajo del mundo seguía dependiendo de la fuerza muscular de

las personas y de los caballos o las reses. Pero el vapor de agua, generado por la combustión del carbón y controlado gracias a las aportaciones de algunos inventores ingeniosos, tenía portabilidad y versatilidad. Podía sustituir a los músculos en cualquier sitio. El vapor (*steam*) se convirtió en verdadero santo y seña de la época: cuando la gente estaba haciendo algo «subía el vapor» (*steam up*), o «le daba más vapor» (*get more steam on*) o «echaba vapor por las orejas» (*blow steam off*). Disraeli elogiaba «vuestra energía [literalmente: vapor] moral capaz de mover el mundo». El vapor se convirtió en el mayor transmisor de energía que había conocido la humanidad.

Aun así era bastante extraño que a Babbage se le ocurriera utilizar esa fuerza tan poderosa en un reino ingrátido, es decir aplicar el vapor al pensamiento a la aritmética. Las cremalleras se pondrían a correr, las ruedas dentadas se pondrían a girar, y listo: el trabajo de la mente estaría hecho.

Sería realizado automáticamente, afirmaba Babbage. ¿Qué significaba llamar a una máquina «automática»? Para él no era solo una cuestión de semántica, sino un principio para juzgar la utilidad de una máquina. Las máquinas calculadoras que existían por entonces podían dividirse en dos tipos: las primeras requerían la intervención del hombre, y las segundas actuaban verdaderamente solas. Para determinar si una máquina podía ser considerada automática o no, Babbage tenía que formular una pregunta que habría resultado más sencilla si ya se hubieran inventado las palabras *input* y *output*: «A saber, si cuando los números sobre los que vamos a operar son colocados en el aparato, este es capaz o no de llegar a su resultado mediante el simple movimiento de un muelle, la caída de un peso, o cualquier otra fuerza constante».^[4.36] Era un punto de vista que miraba al futuro. Eliminaba prácticamente todos los aparatos utilizados o concebidos como herramientas para la aritmética. Y había habido muchos, como nos recuerdan los anales de la historia. Piedrecillas en una bolsa, cuerdas con nudos y las tarjetas o palos de madera o hueso utilizados como auxiliares de la memoria a corto plazo. Los ábacos y las reglas de cálculo suponían la aplicación de un instrumental más complejo a la computación abstracta. Más tarde, en el siglo XVII, unos cuantos matemáticos concibieron los primeros aparatos de cálculo dignos de ser llamados *máquinas*, para sumar y —mediante la repetición de sumas— para multiplicar. Blaise Pascal creó una máquina de sumar en 1642 con una fila de ruedas y engranajes, una para cada dígito decimal. Treinta años después Leibniz

perfeccionó el modelo de Pascal utilizando un tambor cilíndrico con dientes de longitud variable para el «acarreo» de dígitos de un orden a otro.^[4.37] Pero fundamentalmente los prototipos de Pascal y de Leibniz seguían estando más cerca del ábaco —un registro pasivo de estados de memoria— que de una máquina cinética. A juicio de Babbage, no eran automáticos.

A él no se le habría ocurrido nunca usar un aparato para hacer un solo cálculo, por difícil que fuera. Si por algo sobresalía la maquinaria era por su capacidad de repetición («esfuerzo intolerable y fatigosa monotonía»)^[4.38] Babbage presumía que la demanda de computación aumentaría cuando se combinaran los usos del comercio, la industria y la ciencia. «No obstante, me atrevería a predecir que llegará un día en el que la acumulación del trabajo que provoca la aplicación aritmética de fórmulas matemáticas, actuando como una fuerza retardatriz, impedirá en último término el progreso útil de la ciencia, a menos que se invente este método u otro equivalente para liberarla del insoportable estorbo del detalle numérico.»^[4.39]

En aquel mundo pobre en información, en el que cualquier tabla de números era una rareza, pasaron siglos hasta que el mundo empezara a reunir sistemáticamente tablas impresas con el fin de comparar unas con otras. Cuando lo hicieron, se encontraron fallos inesperados. Por ejemplo, los *Logaritmos* de Taylor, el volumen en cuarto estándar publicado en Londres en 1792, contenía (y acabaría contagiando) diecinueve errores de uno o dos dígitos. Fueron detallados en el *Almanaque Náutico*, pues el Almirantazgo era consciente de que cualquier error era un potencial naufragio.

Por desgracia, una de las diecinueve correcciones resultó errónea, de modo que el *Almanaque Náutico* del año siguiente publicó una «errata en la lista de erratas». Esta, a su vez, indujo a un nuevo error. «Confusión todavía peor», afirmaba *The Edinburgh Review*.^[4.40] El siguiente almanaque tuvo que añadir una «Errata de la errata de la lista de erratas de los *Logaritmos* de Taylor».

Algunos fallos tenían su propia historia particular. Cuando Irlanda estableció su Ordnance Survey (la agencia encargada de la elaboración de mapas), para cartografiar todo el país a mayor escala de lo que lo había hecho nunca cualquier otra nación, la primera tarea que se encargó fue que los topógrafos —equipos de zapadores y mineros— dispusieran de doscientos cincuenta juegos de tablas de logaritmos, relativamente portátiles y con una exactitud de siete decimales.^[4.41]

El servicio de topografía comparó trece tablas publicadas en Londres a lo largo de los últimos doscientos años, así como otras provenientes de París, Aviñón, Berlín, Leipzig, Gouda, Florencia, y China. Se descubrieron seis errores en casi todos los volúmenes: y los seis eran los *mismos*. La conclusión era inevitable: las tablas se habían copiado unas a otras, al menos en parte.

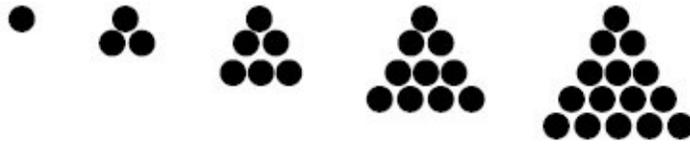
Los errores procedían de equivocaciones en el acarreo de dígitos de un orden a otro. También procedían de la inversión de dígitos, obra unas veces de los propios computadores y otras de los impresores. Estos podían cambiar números de una línea a otra. ¡Qué cosa tan misteriosa y falible era aparentemente la mente humana! Todos estos errores, señalaba un comentarista, «podrían constituir un curioso objeto de especulación metafísica respecto a la forma que tiene de operar la facultad de la memoria».^[4.42] Los computadores humanos no tenían futuro, pensaba: «Solo mediante la *fabricación mecánica de tablas* resultará imposible cometer esos errores».

Babbage procedió exponiendo los principios mecánicos existentes en los números. Vio que parte de la estructura podía revelarse computando las diferencias entre una secuencia y otra. El «cálculo de diferencias finitas» había sido explorado ya por los matemáticos (sobre todo franceses) desde hacía un siglo. Su potencial consistía en reducir las operaciones de alto nivel a una simple suma, fácil de convertirse en una rutina. Para Babbage ese método era tan trascendental que llamó a su aparato Máquina Diferencial desde el primer momento de su concepción.

A modo de ejemplo (pues sintió la necesidad de publicitar y explicar su concepción muchas veces con el paso de los años), Babbage presentaba la Tabla de los Números Triangulares. Como muchas de las secuencias de interés, era una escala que empezaba a ras de suelo e iba subiendo cada vez más:

1, 3, 6, 10, 15, 21, ...

Ilustraba la idea imaginando a un niño que fuera colocando grupos de canicas sobre la arena:



Supongamos que el niño quiere saber «cuántas canicas podría contener el trigésimo grupo o cualquier otro grupo más o menos alejado». (Se trataría de un niño al gusto de Babbage). «Tal vez se dirigiera a su papá para obtener información; pero mucho me temo que el papá lo mandaría a paseo y le diría que era una tontería —o sea, que era una cosa inútil—, que nadie conocía el número, etcétera». Comprensiblemente el papá no tiene ni idea de la Tabla de Números Triangulares, publicada en La Haya por É. de Joncourt, catedrático de filosofía. «Si el papá no le informa, dejémoslo que busque a la mamá, que no dejará de encontrar los medios de satisfacer la curiosidad de su niño bonito.»^[4.43] Mientras tanto, Babbage responde a la pregunta por medio de una tabla de diferencias. La primera columna contiene la secuencia numérica en cuestión. Las siguientes columnas se derivan mediante sustracciones repetidas, hasta que se alcanza una constante: una columna compuesta enteramente por un solo número.

<i>Número del grupo</i>	<i>Número de canicas en cada grupo</i>	<i>1ª Diferencia Diferencia entre cada grupo y el siguiente</i>	<i>2ª Diferencia</i>
1	1	1	1
2	3	2	1
3	6	3	1
4	10	4	1
5	15	5	1
6	21	6	1
7	28	7	1

Cualquier función polinómica puede ser reducida mediante el método de las diferencias, y todas las funciones que tienen una conducta normal, incluidos los logaritmos, pueden ser aproximadas de forma efectiva. Las ecuaciones de grado superior requieren diferencias también de grado superior. Babbage presentaba

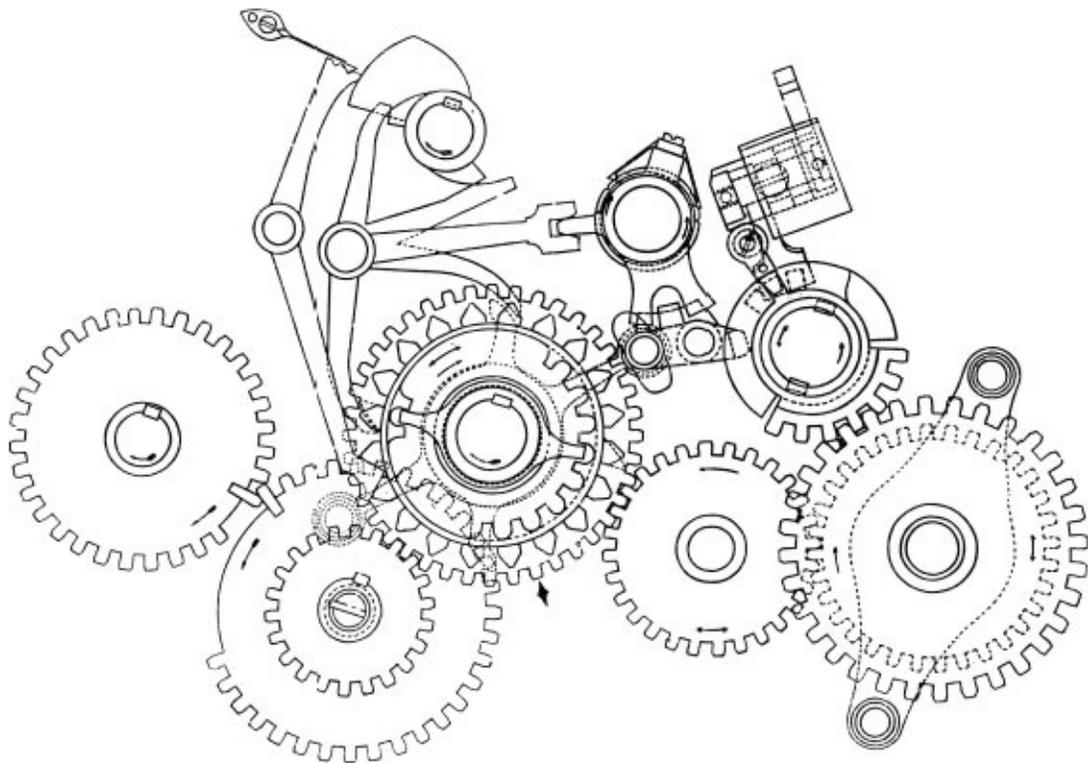
otro ejemplo que requería una tabla de tres diferencias: montones de balas de cañón en forma de pirámide triangular, esto es los números triangulares traducidos a tres dimensiones.

<i>Número</i>	<i>Tabla</i>	<i>1ª Diferencia</i>	<i>2ª Diferencia</i>	<i>3ª Diferencia</i>
1	1	3	3	1
2	4	6	4	1
3	10	10	5	1
4	20	15	6	1
5	35	21	7	1
6	56	28	8	1

La Máquina Diferencial efectuaría este proceso al revés: en vez de sustracciones repetidas para hallar las diferencias, generaría secuencias de números mediante una cascada de sumas. Para conseguirlo, Babbage concebía un sistema de ruedas de cifras, marcadas con los números del 0 al 9, colocadas a lo largo de un eje para representar los dígitos decimales de una cantidad: las unidades, las decenas, las centenas, etc. Las ruedas debían tener engranajes. Los engranajes situados a lo largo de cada eje se acoplarían a los engranajes del siguiente, para sumar los sucesivos dígitos. Cuando la maquinaria transmitiera movimiento, rueda a rueda, transmitiría información, en incrementos minúsculos, sumándose los números a lo largo de los ejes. Naturalmente se planteaba una complicación mecánica cuando alguna suma superaba el 9. Entonces había que acarrear una unidad al siguiente decimal. Para solucionarlo, Babbage colocó un diente con resalte en cada rueda, entre el 9 y el 0. Este diente pulsaba una palanca, que a su vez transmitía su movimiento a la siguiente rueda situada encima.

En este punto de la historia de las máquinas computadoras aparece un nuevo problema: la obsesión por el tiempo. A Babbage se le ocurrió que su máquina tenía que calcular más deprisa que la mente humana y tan rápido como fuera posible. Tuvo una idea para llevar a cabo procesos paralelos: las ruedas de números colocadas a lo largo de un eje podían sumar toda una fila de dígitos de una vez. «Si pudiera conseguirse algo así», señalaba, «las sumas y restas con números de diez, veinte, cincuenta o cualquier cantidad de cifras resultarían tan

rápidas como puedan serlo las mismas operaciones con una sola cifra».^[4.44] Sin embargo, enseguida se percató de un problema. Los dígitos de una sola suma no podían manejarse con completa independencia debido al acarreo. Los acarreos podían desbordarse y caer en cascada a través de toda una serie de ruedas. Si los acarreos se conocían de antemano, las sumas podían efectuarse en paralelo. Pero ese conocimiento no estaba disponible en el momento debido. «Por desgracia», escribía, «hay multitud de casos en los que los acarreos que hay que hacer solo se conocen en períodos sucesivos de tiempo». Calculó el tiempo suponiendo que cada operación se efectuara en un segundo: sumar dos cantidades de cincuenta dígitos habría tardado de por sí solo nueve segundos, pero, en el peor de los casos, el acarreo habría tardado cincuenta segundos más. Malas noticias, desde luego. «Se idearon multitudes de estratagemas y se hicieron casi infinidad de dibujos con el fin de economizar tiempo», decía Babbage con tristeza. En 1820 ya había escogido un diseño. Compró su propio torno, lo utilizó y contrató a varios metalúrgicos, y en 1822 logró presentar ante la Royal Society un pequeño modelo capaz de funcionar, resplandeciente y futurista.



Sistema de ruedas ideado por Babbage.

Babbage vivía en Londres cerca de Regents Park como una especie de caballero filósofo, publicando artículos de matemáticas y dando ocasionalmente conferencias de astronomía ante el público. Se casó con una joven rica, originaria de Shropshire, Georgiana Whitmore, la menor de ocho hermanas. Aparte del dinero que poseía su esposa, Babbage se mantenía principalmente con la asignación de trescientas libras que le daba su padre, al que consideraba un viejo tiránico, tacaño y sobre todo de mente cerrada. «No es exagerado ni mucho menos decir que no cree *nada* de lo que oye, y solo la mitad de lo que ve», escribía Babbage a su amigo Herschel.^[4.45] Cuando murió su padre en 1827, heredó una fortuna de cien mil libras. Durante una breve temporada fue actuario de seguros de la nueva Protector Life Assurance Company y calculó tablas estadísticas racionalizando la esperanza de vida de los clientes. Intentó que le dieran una cátedra universitaria, sin conseguirlo de momento, pero llevaba una vida social cada vez más animada, y en los círculos eruditos la gente empezaba a conocer su nombre. Con la ayuda de Herschel fue elegido miembro de la Royal Society.

Incluso sus fracasos aumentaron su fama. En nombre de *The Edinburgh Journal of Science* sir David Brewster le envió un clásico en los anales de las cartas de rechazo: «Es con no poca reluctancia que declino toda oferta de cualquier artículo procedente de usted. Creo, sin embargo, que, si reconsidera el asunto, será de la opinión de que no he tenido otra alternativa. Los temas que usted propone para una serie de Ensayos Matemáticos y Metafísicos son tan profundos que quizá no haya ni un solo suscriptor de nuestra revista que pueda seguirlos».^[4.46] En nombre de su incipiente invento, Babbage emprendió una campaña de demostraciones y cartas. En 1823 los departamentos del Tesoro y del Exchequer se interesaron. Él les prometió «tablas de logaritmos más baratas que las patatas».^[4.47] ¿Cómo podían resistirse? Los logaritmos salvaban barcos. Los lores del Tesoro autorizaron una primera asignación de mil quinientas libras.

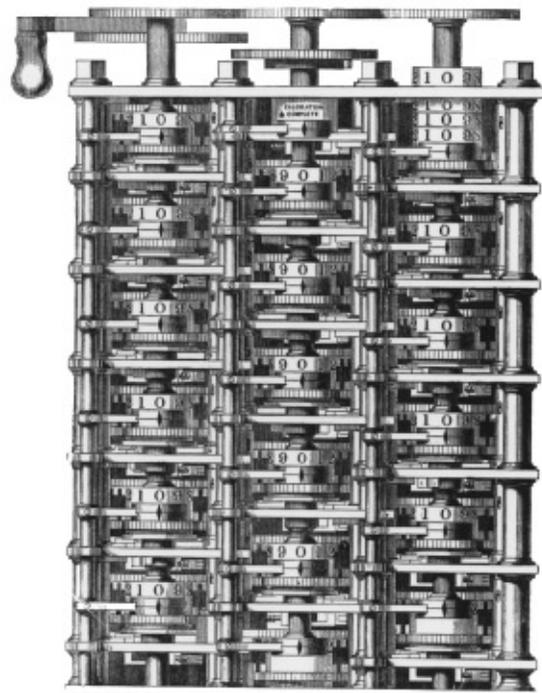
Como concepción abstracta, la Máquina Diferencial generó tanta curiosidad que no fue preciso esperar a una cosa tan mundana como su construcción material. La idea cayó en terreno abonado. Dionysius Lardner, popular conferenciante sobre temas técnicos, dedicó una serie de charlas públicas a

Babbage, acogiendo con entusiasmo su «propuesta de reducir la aritmética al dominio del mecanismo —a sustituir un cajista de imprenta por un autómatas—, a volcar los poderes del pensamiento en un dispositivo mecánico».^[4.48] «Cuando esté acabada», decía, «la máquina tendrá importantes resultados no solo en el progreso de la ciencia, sino también en el de la civilización». Sería la máquina racional. Sería el punto de unión de dos caminos, el del mecanismo y el del pensamiento. Sus admiradores se las veían y se las deseaban a veces para elaborar las explicaciones que daban de este cruce de caminos: «La cuestión ha sido planteada al instrumento», decía Henry Colebrooke ante la Astronomical Society, «o el instrumento ha sido puesto en cuestión». En cualquier caso, afirmaba, «simplemente poniéndolo en marcha la solución se ha alcanzado».^[4.49]

Pero los progresos que hizo la máquina en el reino del latón y del hierro forjado fueron más lentos. Babbage eliminó las cuerdas de la trasera de su casa de Londres y las sustituyó por una forja, una fundición y un taller a prueba de incendios. Contrató a Joseph Clement, delineante e inventor, autodidacta, hijo de un tejedor de pueblo que se había convertido en el ingeniero mecánico más destacado de Inglaterra. Babbage y Clement se dieron cuenta de que tendrían que fabricar nuevas herramientas. Dentro de una colosal estructura de acero el diseño necesitaba una serie de elementos sumamente complicados y precisos: ejes, engranajes y clavijas, y sobre todo ruedas de cifras a cientos y luego a miles. Las herramientas manuales no podían producir nunca las piezas con la precisión necesaria. Antes de que Babbage pudiera disponer de una fábrica de tablas de números, tendría que construir nuevas fábricas de piezas. También el resto de la Revolución Industrial necesitaba una estandarización de sus componentes: tornillos intercambiables con roscas —machos y hembras— uniformes; y los tornillos eran unidades fundamentales. Los tornos de Clement y sus operarios empezaron a producirlos.

A medida que aumentaban las dificultades, aumentaban también las ambiciones de Babbage. Al cabo de diez años, la máquina medía ya sesenta centímetros de altura, con seis ejes verticales y docenas de ruedas, capaces de computar resultados de seis cifras. Diez años más tarde, sus dimensiones —sobre el papel— llegaban ya a los casi cincuenta metros cúbicos, pesaba quince toneladas, y tenía veinticinco mil piezas, y además los planos desplegados cubrían un espacio de más de ciento veinte metros cuadrados. El nivel de

complejidad era inabordable. Babbage solucionó el problema de tener que añadir muchos dígitos a la vez separando los «movimientos de suma» de los «movimientos de acarreo» y luego escalonando la velocidad de los acarreo. La suma debía empezar con un tumulto de engranajes chirriantes, primero las columnas de discos de los números impares, y luego las columnas de los pares. Luego los acarreo retrocederían por todas las filas. Para mantener sincronizado el movimiento, algunas piezas de la máquina tenían que «saber» en determinados momentos que todavía estaba pendiente un acarreo. Esa información era transmitida por el estado de un pasador. Por primera vez, y no sería la última, un aparato iba a estar provisto de memoria. «De hecho es un recordatorio que coge la máquina», escribía su publicista, Dionysius Lardner. El propio Babbage era consciente de esa antropomorfización, pero no podía resistirse a ella. «Los medios mecánicos que he empleado para hacer esos carros», sugería, «tienen cierta analogía con la operación de la facultad de la memoria».



B. H. Babbage, del.
Impression from a woodcut of a small portion of Mr. Babbage's Difference Engine No. 1, the property of Government, at present deposited in the Museum at South Kensington.
It was commenced 1823.
This portion put together 1833.
The construction abandoned 1842.
This plate was printed June, 1853.
This portion was in the Exhibition 1851.

Xilografía de una pequeña pieza de la Máquina Diferencial (1853).

En el lenguaje corriente, describir incluso este proceso básico de suma requería una gran brillantez de palabras, dar nombre a las piezas metálicas, describir sus interacciones, y enumerar unas interdependencias que se multiplicaban hasta formar una larga cadena de causalidades. La explicación que ofrecía el propio Lardner del «acarreo», por ejemplo, era épica.^[4.50] Un mero instante aislado de la acción implicaba un disco, un índice, un pulgar, un eje, un detonador, una muesca, un garfio, una pinza, un muelle, un diente y una rueda de trinquete:

Pues bien, en el momento en el que la división entre el 9 y el 0 del disco B² pasa por debajo del índice, un pulgar situado en el eje de ese disco toca un detonador que se separa de la muesca del garfio que sostiene la pinza que acabamos de mencionar, y le permite caer al aplastar el muelle, y engancharse en el siguiente diente de la rueda de trinquete.

Cientos de palabras después, resumiendo la operación, Lardner recurría a una metáfora que sugería una dinámica fluida:

Hay dos sistemas de ondas de acción mecánica fluyendo constantemente de abajo arriba; y dos corrientes de acción similar pasando continuamente de derecha a izquierda. Las crestas del primer sistema de olas de suma caen sobre la última diferencia, y sobre cada ola alternativa en ascenso... La primera corriente de acción de acarreo pasa de derecha a izquierda a lo largo de cada fila superior y de cada fila alterna.

Era una forma de abstracción a partir de lo particular; y los particulares eran muy complicados. Lardner acababa finalmente por rendirse. «Sus maravillas, sin embargo, son todavía más grandes en los detalles», decía. «Desesperamos de poder hacerle justicia».

Tampoco los planos de un delineante corriente bastaban para describir esta máquina que era más que una máquina. Era un sistema dinámico, cada una de cuyas piezas era capaz de desarrollar varios modos o estados, unas veces en descanso y otras en movimiento, propagando su influencia a lo largo de unos canales sumamente enrevesados. ¿Podría llegar a concretarse alguna vez, sobre el papel? En su propio interés, Babbage ideó una nueva herramienta formal, un sistema de «notación mecánica» (según su propia terminología). Se trataba de un

lenguaje de signos que debían representar no solo la forma física de una máquina, sino también sus propiedades más elusivas: su velocidad y su lógica. Era una ambición extraordinaria, como el propio Babbage reconocía. En 1826 presentó orgullosamente a la Royal Society una comunicación «Sobre un Método de Expresar mediante Signos la Acción de la Maquinaria».^[4.51] En parte era un ejercicio de clasificación. Babbage analizaba las diferentes formas en las que una cosa —el movimiento o la energía— podía ser «comunicada» a través de un sistema. Había muchas maneras. Una pieza podía recibir su influencia sencillamente estando unida a otra, «como una clavija a una rueda, o una clavija y un piñón al mismo eje». O bien la transmisión podía producirse por «fricción dura». Una parte podía ser movida por otra de manera constante, «como sucede cuando una rueda es movida por un piñón», o *no* constante, «como ocurre cuando un clavo levanta un perno en un momento dado en el curso de una revolución». Aquí entraba en acción en el esquema una perspectiva de bifurcación lógica: la senda de la comunicación variaría dependiendo de los estados alternativos de una pieza de la máquina. La notación mecánica de Babbage era una consecuencia natural de su obra sobre la notación simbólica en el análisis matemático. Las máquinas, como las matemáticas, necesitaban rigor y definición para progresar. «Las formas del lenguaje corriente eran demasiado difusas», decía. «Los signos, si queremos elegirlos bien, y si queremos que sean adoptados de manera general, formarán como si dijéramos un lenguaje universal». El lenguaje no sería nunca un asunto colateral para Babbage.

Finalmente obtuvo una plaza en la universidad, y concretamente en Cambridge: la prestigiosa Cátedra Lucasiana de Matemáticas, que en otro tiempo había ocupado Newton. Como en la época de este, el trabajo que comportaba no era muy oneroso. Babbage no tenía que enseñar a los estudiantes, dar clase, ni siquiera vivir en Cambridge, y ello se debía, entre otras cosas, a que estaba convirtiéndose en una personalidad fija bastante popular de la vida social de Londres. En su casa del número uno de Dorset Street celebraba una velada fija cada sábado que atraía a una brillante multitud de personas, políticos, artistas, duques y duquesas, y a los científicos ingleses más importantes de la época: Charles Darwin, Michael Faraday, y Charles Lyell, entre otros.^(4.ii) Se quedaban asombrados ante su máquina calculadora y ante la bailarina automática de su juventud, que estaba expuesta allí cerca. (En las invitaciones ponía:

«Espero que tenga la intención de patrocinar a la “Dama de Plata”. Aparecerá con nuevos trajes y decorados»). Era un anecdotista matemático: estos no eran términos contradictorios en aquella época y en aquel lugar. Lyell comunicaba en tono aprobatorio que «hace chistes y discursos de alta matemática». Publicó un citadísimo tratado en el que aplicaba la teoría de las probabilidades a la cuestión teológica de los milagros. Escribió irónicamente al poeta Alfred, Lord Tennyson, sugiriéndole una corrección a un dístico suyo que decía: «Cada minuto muere un hombre, / Cada minuto nace otro».

No necesito indicarle que ese cálculo tendería a mantener la suma total de la población del mundo en un estado de perpetua estabilidad, mientras que es un hecho de todos bien sabido que dicha suma total está en constante aumento. Me tomaría por tanto la libertad de sugerirle que en la próxima edición de su excelente poema el cálculo erróneo al que me refiero sea corregido de la siguiente manera: «A cada momento muere un hombre / y nace otro y una sexta parte». Podría añadir que la cifra exacta es 1,167, pero naturalmente habrá que hacer alguna concesión a las leyes de la métrica.^[4.52]

Fascinado por su propia celebridad, tenía un álbum de recortes: «los pros y los contras en columnas paralelas, de las que obtenía una especie de equilibrio», según contaba un visitante. «Me han dicho repetidas veces que se pasaba el día presumiendo y quejándose de lo que la gente decía de él.»^[4.53]

Pero los avances en su máquina, el principal fundamento de su fama, fallaban. En 1832, junto con su ingeniero, Clement, realizó una demostración de su funcionamiento. Babbage la expuso en sus fiestas a los invitados, que la encontraron milagrosa o simplemente desconcertante. La Máquina Diferencial constituye hoy día —pues existe una réplica que funciona en el Museo de la Ciencia de Londres— un hito y una muestra de hasta dónde podía llegarse en la ingeniería de precisión. Por la composición de sus aleaciones, la exactitud de sus dimensiones, la capacidad que tenían sus piezas de intercambiarse unas con otras, nada superaría este segmento de máquina inacabada. De todas formas, no era más que una curiosidad. Y también lo más lejos que pudo llegar Babbage.

Su ingeniero y él se enzarzaron en agrias disputas. Clement exigía cada vez

más dinero de Babbage y del Tesoro, que empezó a sospechar de especulación. Se llevó las piezas y los planos y reclamó el control de las herramientas especializadas en sus talleres. El gobierno, después de pagar diecisiete mil libras en más de una década, empezaba a perder la fe en Babbage, y este empezaba a perder la fe en el gobierno. En sus tratos con los lores y los ministros Babbage podía llegar a mostrarse autoritario. Empezaba a desarrollar un concepto amargo de la actitud de los ingleses hacia las innovaciones tecnológicas: «Si les hablas de una máquina para pelar patatas, dirán que es imposible. Si pelas una patata con ella ante sus ojos, dirán que es inútil, pues no puede partir en rodajas una piña».^[4.54] Ya no veían el sentido a todo aquello. «¿Qué vamos a hacer para quitarnos de encima al señor Babbage y su máquina de calcular?», escribía el Primer Ministro Robert Peel a uno de sus asesores en agosto de 1842. «Sin duda alguna si la acabara carecería de valor por lo que a la ciencia se refiere [...] En mi opinión será un juguete muy caro». No le costó trabajo encontrar otras voces contrarias a Babbage entre el funcionariado. Quizá el más condenatorio en sus manifestaciones fuera George Biddell Airy, el Astrónomo Real, personaje encorsetado y metódico, que de forma absolutamente inequívoca dijo a Peel justamente lo que este quería oír: que la máquina era inútil. Y añadió el siguiente comentario personal: «Creo que su autor probablemente viva en una especie de sueño por lo que respecta a su utilidad».^[4.55] El gobierno de Peel acabó con el proyecto. En cuanto al sueño de Babbage, siguió adelante. Ya había tomado otros derroteros. La máquina que tenía en mente había avanzado y había entrado en una nueva dimensión. Y él había conocido a Ada Byron.



Charles Babbage (1860).

En el Strand, en el extremo norte de las Galerías Lowther, los visitantes se agolpaban ante la Galería Nacional de Ciencias Prácticas, «que combina instrucción y deleite», una mezcla de juguetería y de espectáculo tecnológico montado por un empresario norteamericano. Por una entrada que costaba un chelín, el visitante podía tocar la «anguila eléctrica», escuchar conferencias sobre las últimas novedades de la ciencia, y contemplar una maqueta de barco de vapor que cruzaba un canal de más de veinte metros, o el cañón a vapor de Perkins lanzando una ráfaga de balas. Por una guinea, podía posar para un «daguerrotipo» o retrato «fotográfico», mediante el cual podía conseguirse un parecido fiel y hermoso en «menos de un segundo».^[4.56] O podía ver, como hizo la joven Augusta Ada Byron, a un tejedor haciendo una demostración del telar automático Jacquard, en el que los dibujos que se tejían en la tela estaban codificados en unas tarjetas de cartón perforadas.

Ada era «la hija del amor», según había escrito su padre, «aunque nacida en medio de la amargura y criada en medio de la convulsión».^[4.57] Su padre era un poeta. Cuando apenas tenía un mes, en 1816, sus padres, el ya famoso Lord Byron, de veintisiete años, y la brillante Anne Isabella Milbanke (Annabella), de veintitrés, joven acaudalada y entendida en matemáticas, se separaron después de un año de matrimonio. Byron abandonó Inglaterra y no volvería nunca más a ver a su hija. Su madre se negó a decir a esta quién era su padre hasta que tuvo

ocho años y él había muerto en Grecia, convertido en una celebridad internacional. El poeta le había suplicado que le diera alguna noticia de su hija: «¿Es la niña imaginativa? A la edad que ahora tiene yo recuerdo que tenía muchos sentimientos y nociones que la gente no creería que pudiera tener si los contara *ahora*».^[4.58] Pues sí, era imaginativa.

Ada era un prodigio de niña, lista para las matemáticas, animada por sus tutores, tenía mucho talento para el dibujo y la música, y una inventiva fantástica, pero estaba profundamente sola. A los doce años, se propuso inventar un medio que le permitiera volar. «Mañana voy a empezar mis alas de papel», escribía en una carta a su madre.^[4.59] Abrigaba la esperanza de «llevar el arte del vuelo a una gran perfección. Pienso escribir un libro de *Vuelología* ilustrado con láminas». Durante algún tiempo firmó sus cartas: «Con cariño. Tu Paloma Mensajera». Pidió a su madre que buscara un libro que ilustrara la anatomía de las aves, pues sentía reparos a «disecionar incluso a un pájaro». Analizaba su situación diaria prestando mucha atención a la lógica:

La señorita Stamp desea que diga que en este momento no está particularmente contenta conmigo debido a cierta conducta muy absurda que tuve ayer por una cosa muy simple, y que, según dijo, no solo era absurda, sino que demostraba un espíritu de desatención, y aunque hoy no ha tenido motivos en absoluto para estar descontenta conmigo, dice que no puede borrar sin más el recuerdo del pasado.
^[4.60]

Se crió en un claustro bien guardado que su madre se encargó de crear para ella. Durante años fue una niña enfermiza, sufrió un brote severo de sarampión, y episodios de lo que se denominaba neurastenia o histeria («Cuando estoy débil», decía, «estoy siempre tan enormemente asustada de *nadie sabe qué*, que casi no puedo dejar de tener un aspecto y un comportamiento nervioso»)^[4.61] Unas cortinas verdes rodeaban el retrato de su padre que colgaba en una de las habitaciones. Durante su adolescencia desarrolló un interés romántico por su tutor, que dio lugar a cierta cantidad de encuentros a hurtadillas por la casa y por los jardines y a cortejos lo más íntimos posible, sin llegar, según dice ella misma, a un «contacto» real. El tutor fue despedido. Luego, en la primavera, con un vestido de satín y tul, la joven de diecisiete años hizo su debut ritual en la corte, donde fue presentada al rey y a la reina, a los duques más importantes y al

diplomático francés Talleyrand, al que describió como un «mono viejo».^[4.62]

Un mes más tarde conoció a Charles Babbage. Acudió con su madre a ver lo que lady Byron llamaba su «máquina pensante», la parte de la Máquina Diferencial que exhibía en su salón. Babbage vio en ella a una joven radiante, poseída de sí misma, con rasgos de porcelana y un nombre famoso, que se las arregló para demostrar que sabía más matemáticas que la mayoría de los hombres licenciados en la universidad. Ella vio en él a un imponente señor de cuarenta y un años, cejas autoritarias clavadas en su angulosa cara, que poseía chispa y encanto, y no tomaba esas cualidades a la ligera. Parecía una especie de visionario: justo lo que ella andaba buscando. La joven admiró también la máquina. Un espectador comentó: «Mientras otros visitantes se quedaban boquiabiertos ante el funcionamiento de este hermoso aparato con el tipo de expresión y, me atrevería a decir, con el tipo de sensación que, según dicen, han mostrado algunos salvajes la primera vez que han visto un catalejo o han oído un cañón, la señorita Byron, con lo joven que era, entendió su funcionamiento, y supo ver la gran belleza de su invención».^[4.63] Los sentimientos de la joven por la belleza y las abstracciones de las matemáticas, alimentados solo a retazos por una sucesión de tutores, rebosaban por todos sus poros. No había salida. Una mujer no podía ir a la universidad en Inglaterra ni ingresar en una sociedad científica (con dos excepciones: la botánica y la de horticultura).

Ada se convirtió en tutora de las hijas pequeñas de una de las amigas de su madre. Cuando les escribía firmaba: «Con cariño de vuestra insoportable institutriz». Estudió por su cuenta a Euclides. En su mente florecían las ideas. «No considero que conozco una proposición», escribió a otro tutor, «hasta que no puedo imaginarme una figura en el aire, y pasar por la construcción y la demostración sin valerme de libro ni ayuda alguna».^[4.64] Tampoco podía olvidar a Babbage ni su «joya de todos los mecanismos».^[4.65] Habló a otra amiga de su «enorme ansiedad por la máquina». A menudo su mirada se volvía hacia su interior. Le gustaba pensar en cómo pensaba.

En cuanto a Babbage, este había ido mucho más lejos de lo que significaba la máquina expuesta en su estudio; planeaba un nuevo aparato, otra vez una máquina de computación, pero transformada en otra especie. La llamó Máquina Analítica. Lo que lo motivó fue una serena conciencia de las limitaciones de la Máquina Diferencial: solo sumando diferencias no podía computar cualquier

clase de número ni resolver ningún problema matemático. Se inspiró también en el telar expuesto en el Strand, inventado por Joseph-Marie Jacquard y controlado por unas instrucciones codificadas y almacenadas en forma de agujeros perforados en unas tarjetas de cartón.



Retrato de cuerpo entero de Augusta Ada Byron King, condesa de Lovelace, pintado en 1836 por Margaret Carpenter. De él dijo la hija del célebre poeta: «He llegado a la conclusión de que [esta artista] se ha inclinado por plasmar toda la fuerza de mi poderosa mandíbula, sobre la que debería aparecer escrita la palabra Matemáticas».

Lo que encendió la imaginación de Babbage no fue la capacidad de tejer, sino la codificación de dibujos y su paso de un medio a otro. Los dibujos aparecían al final sobre el damasco, pero antes eran «enviados a un artista singular». Este especialista, decía,

perfora agujeros en un conjunto de tarjetas de cartón de tal manera que cuando las tarjetas son colocadas en un telar Jacquard, este teje después en su producto el dibujo exacto diseñado por el pintor. ^[4.66]

La idea de extraer una información de su sustrato físico exigía un énfasis especial. Babbage explicaba, por ejemplo, que el tejedor podía elegir diferentes hilos y colores, «pero en todos los casos la *forma* del dibujo será exactamente la misma». Según concebía Babbage, ahora su máquina elevaba ese mismo proceso de extracción a grados cada vez más altos. Pensaba que los dientes y las ruedas trataban no solo números, sino variables en lugar de números. Las variables debían ser llenadas o determinadas por los resultados de cálculos efectuados previamente y además las operaciones —como, por ejemplo, sumas o multiplicaciones— debían ser susceptibles de cambio, dependiendo de los resultados anteriores. Imaginaba que esas cantidades de información abstracta se almacenaban en tarjetas: tarjetas de variables y tarjetas de operaciones. Pensaba que la máquina encarnaba las leyes y que las tarjetas comunicaban esas leyes. Al carecer de un vocabulario a medida, le resultaba difícil expresar sus conceptos operativos fundamentales; por ejemplo

¿Cómo puede la máquina realizar el acto de juicio que a veces se necesita durante una investigación analítica, cuando se presentan dos o más rumbos diferentes, especialmente si el rumbo adecuado que hay que adoptar no podría conocerse hasta que no se ha recorrido toda la parte anterior?^[4.67]

Ponía de manifiesto, sin embargo, que la información —representaciones de número y de proceso— recorrería toda la máquina. Debía pasar de unas situaciones físicas especiales a otras, lo que Babbage denominaba *almacén*, para su almacenamiento, y *molino*, para la ejecución.

Para todo esto encontró un compañero intelectual en Ada, primero su acólita y luego su musa. La joven se casó con un aristócrata sensato y prometedor, William King, diez años mayor que ella y favorito de su madre. En el plazo de pocos años obtuvo la dignidad de par del reino con el título de conde de Lovelace —convirtiendo de paso a Ada en condesa, quien antes de cumplir los veinticinco tuvo tres hijos—. La joven administraba sus casas de Surrey y de Londres, practicaba el arpa cuatro horas al día («soy ahora una condenada esclava de *mi arpa*, que no es un amo fácil»),^[4.68] bailaba en los bailes, se reunía con la nueva reina, Victoria, y posaba para su retrato, muy segura de sí misma

(«llego a la conclusión de que [la pintora] está empeñada en mostrar toda la envergadura de mi espaciosa mandíbula, sobre la cual creo que podría escribirse la palabra matemáticas»). Sufrió terribles ataques de melancolía y enfermó varias veces, entre otras dolencias de cólera. Sus intereses y su comportamiento, en cualquier caso, hacían de ella una persona especial. Una mañana fue sola en su coche, vestida sencillamente, a ver una maqueta del «telégrafo eléctrico» de Edward Davy en Exeter Hall.

Y la única otra persona que había era un caballero de mediana edad que prefirió comportarse como si el *espectáculo* fuera yo [decía en una carta a su madre], cosa que, naturalmente, pensé que era sumamente vergonzosa e imperdonable. Estoy segura de que me tomó por una institutriz muy joven (y supongo que, a su juicio, bastante guapa) [...] Se paraba cada vez que lo hacía yo, y luego me siguió por la calle. Me encargué de mostrarme tan aristocrática y tan *semejante a una condesa* como me fue posible [...] Tengo que intentar añadir un poco de edad a mi apariencia. Iré a ver algo cada día y estoy segura de que Londres no se cansará nunca.^[4.69]

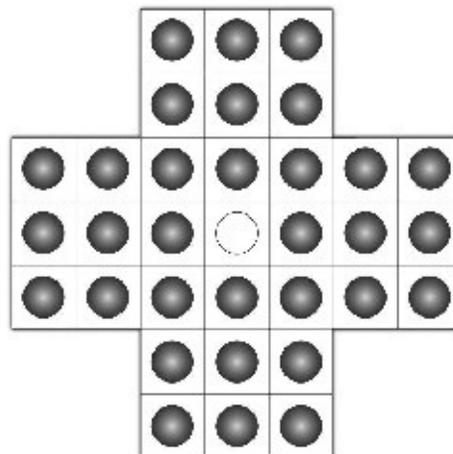
Lady Lovelace adoraba a su esposo, pero reservaba gran parte de su vida mental para Babbage. Tenía sueños, sueños inquietantes, de algo que no podía ser y de algo que no podía hacer, como no fuera a través de otro, a través del genio de él. «Tengo una singular *forma de aprender*», le decía en una carta, «y creo que debe ser un hombre singular el que logre enseñarme».^[4.70] Su desesperación cada vez mayor iba acompañada de una poderosa confianza en sus capacidades aún no demostradas. «Espero que se acuerde usted de mí», escribía unos meses más tarde, «me refiero a mis intereses matemáticos. Ya sabe usted que es el mayor favor que alguien pueda hacerme. Quizá ninguno de nosotros pueda imaginar *cómo* de grande es...».

Sabe usted que por naturaleza soy un poco filósofa, y una gran especuladora, de modo que veo ante mí un panorama inconmensurable y, aunque no distingo más que una incertidumbre vaga y llena de nubes en el primer plano de nuestro ser, me imagino que muy a lo lejos diviso una luz brillante, y eso hace que me preocupe mucho menos de las nubes y de la indeterminación que tengo cerca. ¿Soy demasiado fantasiosa para usted? Yo creo que no.^[4.71]

El matemático y estudioso de la lógica Augustus De Morgan, amigo de

Babbage y de lady Byron, se convirtió en maestro de Ada por correo. Él se encargaba de enviarle ejercicios. Y ella le hacía llegar preguntas, cavilaciones y dudas («desearía avanzar más deprisa»; «siento decirle que estoy terriblemente obstinada con el término en el que empieza la convergencia»; «he incluido la demostración de *mi* planteamiento del asunto»; las «ecuaciones funcionales son para mí absolutas quimeras»; «No obstante, intento mantener mi cabeza metafísica en orden»). A pesar de la ingenuidad de Ada, o precisamente por eso, De Morgan reconocía en ella «una capacidad de pensar [...] absolutamente fuera de lo común para un principiante, ya sea hombre o mujer». Lady Lovelace había aprendido a dominar rápidamente la trigonometría y el cálculo integral y diferencial, de modo que el maestro no dudó en decirle en privado a su madre que si hubiera encontrado «semejante capacidad» en un estudiante de Cambridge, habría supuesto que estaba ante un futuro «auténtico investigador de las matemáticas, quizá una eminencia de primer orden».^[4.72] Ada no tenía miedo de profundizar hasta dar con los primeros principios. Si en alguna parte encontraba dificultades era porque verdaderamente había dificultades.

Un invierno se obsesionó con un juego de moda llamado el Solitario, comparable al Cubo de Rubik de nuestros días. Había treinta y dos fichas colocadas en un tablero de treinta y tres agujeros, y las reglas no podían ser más sencillas: cada ficha puede saltar sobre la que esté inmediatamente al lado, y la ficha «comida» es eliminada, hasta que no haya más fichas que comer. La finalidad del juego es eliminar todas las fichas dejando solo una en el tablero. «Puede una intentarlo mil veces, y no conseguirlo», escribía entusiasmada a Babbage.



Yo *he* conseguido dar con la solución por medio del experimento y de la observación y ahora puedo hacerlo cuando quiera, pero quiero saber si el problema permite ser planteado en una fórmula matemática, y resuelto de esa manera [...] Tiene que haber un principio definido, un conjunto, supongo, de propiedades numéricas y geométricas, del que dependa la solución, y que pueda ponerse en un lenguaje simbólico.^[4.73]

Una solución formal a un juego. La idea era ya de por sí original. El deseo de crear un lenguaje de símbolos en el que pudiera ser codificada la solución, esa era la forma de pensar que tenía Babbage, como sabía ella muy bien.

Ada sopesaba el poder cada vez mayor de su mente. Veía las matemáticas simplemente como una parte de un mundo imaginativo mayor. Las transformaciones matemáticas le recordaban «ciertos espíritus y hadas como los que aparecen en los cuentos que leemos, que ahora están al alcance de la mano en *una* forma determinada y al minuto siguiente están en otra completamente distinta; y qué engañosos, molestos e incitantes son a veces los espíritus y hadas de las matemáticas; como los modelos que he encontrado para ellos en el mundo de ficción».^[4.74] *Imaginación*, la cualidad ansiada. Ada reflexionaba sobre ella; era la herencia que había recibido de su padre nunca visto.

Hablamos mucho de la *imaginación*. Hablamos de la imaginación de los poetas, de la imaginación de los artistas, etc.; yo me inclino a pensar que en general no conocemos con demasiada exactitud de *qué* estamos hablando [...]

Es lo que penetra en los mundos no vistos que nos rodean, los mundos de la Ciencia. Es lo que siente y descubre lo que *es*, lo *real* que no vemos, lo que no *existe* para nuestros *sentidos*. Los que han aprendido a caminar por el umbral de los mundos desconocidos [...] tal vez puedan abrigar la esperanza de remontar el vuelo con las hermosas alas blancas de la imaginación y penetrar en el mundo inexplorado en medio del cual vivimos.^[4.75]

Empezaba a creer que tenía una misión divina que cumplir. Utilizaba precisamente esa palabra, *misión*. «Tengo en mi mente la fuerte impresión de que el cielo me ha asignado una determinada misión *moral-intelectual* que llevar a cabo.»^[4.76] Tenía poderes. Según confió a su madre:

Creo que poseo una singularísima mezcla de cualidades precisamente apropiadas para hacer de mí *ante todo* una descubridora de las *realidades ocultas*

de la naturaleza [...] Esa creencia me ha sido *impuesta* y poco a poco me he visto obligada a admitirla.

Enumeraba sus cualidades:

Primero: Debido a cierta peculiaridad de mi sistema nervioso, tengo *percepciones* de algunas cosas, que no tiene nadie más; o al menos muy pocas personas, si es que alguna las posee [...] Algunos dirían una percepción *intuitiva* de cosas ocultas; es decir, de cosas ocultas a la vista, al oído y a los sentidos corrientes [...]

Segundo: Mis inmensas facultades de raciocinio;

Tercero: [...] el poder no solo de volcar toda mi energía y existencia en cualquier cosa que escoja, sino también de dedicar a cualquier asunto o idea un vasto conjunto sacado de toda clase de fuentes aparentemente irrelevantes y extrañas. Puedo lanzar *rayos* desde cualquier punto del universo hacia *un* vasto foco en concreto.

Ada reconocía que aquello podía parecer una locura, pero insistía en que era lógica y fría. Ahora conocía cuál era el rumbo de su vida, decía a su madre. «¡*Qué* montaña tengo que ascender! Basta para asustar a cualquiera que no tenga una energía tan insaciable e inquieta, que desde mi infancia ha sido la plaga de tu vida y de la mía. Sin embargo, creo que por fin ha encontrado su alimento.»^[4.77] Y lo había encontrado en la Máquina Analítica.

Babbage, mientras tanto, inquieto y omnívoro, trasladaba sus energías a otra tecnología floreciente, la expresión más poderosa del vapor, el ferrocarril. El Great Western Railroad, que acababa de ser creado, estaba tendiendo las vías y preparando carreras de locomotoras desde Bristol a Londres bajo la supervisión de Isambard Kingdom Brunel, el brillante ingeniero, de apenas veintisiete años por aquel entonces. Brunel pidió ayuda a Babbage, y este decidió iniciar un programa de recogida de información ingenioso y enorme, como era típico de él. Equipó un vagón de tren entero. En una mesa fabricada aposta, suspendida independientemente, unos rodillos desenrollaban hojas de papel de treinta metros de largo, mientras que unas plumas trazaban líneas que «expresaban» (según Babbage) mediciones de las vibraciones y las fuerzas que sentía el coche en

todas direcciones. Un cronómetro marcaba el paso del tiempo en medios segundos. De esta forma llegó a rellenar casi tres kilómetros de papel.

Mientras atravesaba los raíles, se dio cuenta de que un peligro especial de la locomoción a vapor consistía en que era más rápida que cualquier otro medio de comunicación existente hasta ese momento. Los trenes se perdían la pista unos a otros. Hasta que no se impuso un horario regular y disciplinado, el azar regía todos sus movimientos. Un domingo Babbage y Brunel, manejando locomotoras distintas, estuvieron a punto de chocar uno con otro. También otras personas empezaron a preocuparse por este nuevo abismo abierto entre la velocidad de los viajes y la de los mensajes. Un importante banquero de Londres le dijo a Babbage que desaprobaba aquel medio: «Permitiré a nuestros empleados desvalijarnos y luego salir disparados con el botín para Liverpool con destino a América a más de treinta kilómetros por hora».^[4.78] Babbage no podía hacer más que expresar su esperanza de que la ciencia encontrara el remedio al problema que había creado. («Posiblemente podamos enviar un rayo para adelantar al culpable»).

En cuanto a su máquina —la única que no iba a viajar a ninguna parte— había encontrado una nueva metáfora. Sería, decía, «una locomotora que tiende sus propias vías».

Disgustado como estaba por la pérdida de interés de Inglaterra por sus planes visionarios, Babbage encontró admiradores en la Europa continental, particularmente en Italia, «el país de Arquímedes y Galileo», como les dijo a sus nuevos amigos. En el verano de 1840 cogió sus fajos de dibujos y planos y, pasando por París y Lyon, donde pudo admirar el gran telar de Jacquard en la Manufacture d'Étoffes pour Ameublements et Ornaments d'Église, viajó a Turín, capital del reino de Cerdeña, para asistir a un congreso de matemáticos e ingenieros. Allí hizo su primera (y última) presentación pública de la Máquina Analítica. «El descubrimiento de la Máquina Analítica se ha adelantado a mi país, y me temo que también a nuestro tiempo», dijo.^[4.79] Conoció al rey de Cerdeña, Carlos Alberto, y, lo que es más significativo, a un ambicioso y joven matemático llamado Luigi Menabrea. Más tarde Menabrea llegaría a general, diplomático y primer ministro de Italia; en aquel momento preparó un informe científico, *Notions sur la machine analytique*, con el fin de presentar el proyecto de Babbage a la comunidad de filósofos de Europa en general.^[4.80]

En cuanto el artículo llegó a manos de Ada Lovelace, que empezó a traducirlo al inglés, corrigiendo los errores que pudiera contener basándose en sus propios conocimientos. Lo hizo suyo, sin decírselo ni a Menabrea ni a Babbage.

Cuando finalmente enseñó el borrador a este último en 1843, el inventor reaccionó con entusiasmo, instándola a escribirlo en su nombre y así comenzó en serio la extraordinaria colaboración entre los dos. Se enviaban mutuamente cartas por mensajero de una punta a otra de Londres con toda velocidad —«Mi querido Babbage», decía una; «Mi querida lady Lovelace», decía el otro— y se encontraban siempre que podían en casa de ella en St. James Square. El ritmo era casi frenético. Aunque él era una eminencia de cincuenta años frente a los veintisiete de ella, era Ada la que llevaba la iniciativa, combinando una férrea autoridad con unas formas graciosas. «Quiero que me responda a la siguiente cuestión a vuelta de correo»; «Sea lo bastante amable y pásame esto a limpio»; «Ha sido usted un poquito tarambana y descuidado»; «Desearía que fuera usted tan cuidadoso como yo y que se pudiera fiar una de usted como de mí». Ada le propuso firmar su obra con sus iniciales —nada tan atrevido como dar su nombre completo— para no «*proclamar* quién lo ha escrito», sino solo «*individualizarla e identificarla* con otras producciones de la dicha A. A. L.». [4.81]

El trabajo de lady Lovelace adoptó la forma de una serie de notas divididas en siete apartados, de la A a la G, y tenía una extensión casi tres veces superior al artículo de Menabrea. Tanto uno como otra ofrecían una visión del futuro más general y más profética que cualquiera de las expresadas por el propio Babbage. ¿Hasta qué punto general? La máquina no solo calculaba; realizaba *operaciones*, decía Ada, definiendo operación como «cualquier proceso que altere la mutua relación de dos o más cosas», y declaraba: «Se trata de una definición muy general, e incluiría todos los objetos del universo». [4.82] La ciencia de las operaciones, tal como ella la concebía,

es una ciencia de sí misma, y tiene su propia verdad y su propio valor abstracto, del mismo modo que la lógica tiene una verdad y un valor peculiares, independientemente de los objetos a los que podamos aplicar sus razonamientos y sus procesos [...] Uno de los principales motivos de que el carácter distinto de la ciencia de las operaciones se haya notado tan poco y en general se le haya

prestado tan poca atención y tan poco detenimiento, es el significado *cambiante* de muchos de los símbolos usados.

Símbolos y significado: Ada hacía hincapié en que no hablaba solo de matemáticas. La máquina «podía actuar sobre otras cosas aparte del *número*». Babbage había escrito cifras en esos miles de discos, pero cuando funcionaban podían representar símbolos más abstractos. La máquina podía procesar cualquier tipo de relación significativa. Podía manipular el lenguaje. Podía crear música. «Suponiendo, por ejemplo, que la relación fundamental de los sonidos modulados en la ciencia de la armonía y de la composición musical fueran susceptibles de semejante expresión y de semejantes adaptaciones, la máquina compondría piezas elaboradas y científicas de música de cualquier grado de complejidad y extensión».

Había sido una máquina de números; ahora se transformaba en una máquina de información. A. A. L. la distinguía mejor y la percibía de una manera más imaginativa que el propio Babbage. Explicaba la creación prospectiva nocional, virtual de este como si ya existiera:

La Máquina Analítica no comparte el mismo terreno que las simples «máquinas de calcular». Ocupa una posición completamente propia [...] Se ha desarrollado un lenguaje nuevo, vasto y poderoso [...] en el que utilizar sus verdades de modo que estas puedan tener una aplicación práctica más veloz y precisa para los fines de la humanidad que lo que han permitido los medios hasta ahora a nuestro alcance. De ese modo, no solo lo mental y lo material, sino también lo teórico y lo práctico que hay en el mundo de las matemáticas llegan a tener entre sí una conexión más íntima y eficaz.

... Podríamos decir más bien que la Máquina Analítica *teje diseños algebraicos*, lo mismo que el telar de Jacquard teje flores y hojas.^[4.83]

Ada se hacía plenamente responsable de este vuelo de la imaginación. «Si el inventor de este aparato tenía esas ideas en la cabeza cuando desarrollaba su invento o si posteriormente lo ha visto bajo esta perspectiva, lo desconocemos; pero es un concepto que no pudo dejar de ocurrírse nos a nosotros».

Pasaba de lo poético a lo práctico. Emprendía una excursión de virtuoso por el hipotético programa mediante el cual esta hipotética máquina podría computar una serie infinita y, como todos sabían, bien establecida, los números de

Bernoulli. Estos números surgen de la suma de cualquier número, desde 1 a n , elevado a potencias integrales, y aparecen con diversos ropajes a lo largo de toda la teoría de los números. No hay ninguna fórmula directa que los genere, pero pueden desarrollarse metódicamente, ampliando más y más determinadas fórmulas, y atendiendo cada vez los coeficientes. Ada empezaba poniendo ejemplos; el más sencillo, decía, sería la expansión de

$$\frac{x}{e^x - 1} = \frac{1}{1 + \frac{x}{2} + \frac{x^2}{2 \cdot 3} + \frac{x^3}{2 \cdot 3 \cdot 4} + \&c.}$$

y otro planteamiento sería

$$B_{2n-1} = \frac{\pm 2^n}{(2^{2n} - 1)2^{n-1}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} n^{2n-1} \\ - (n-1)^{2n-1} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2n}{1} \right\} \\ + (n-2)^{2n-1} \left\{ 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2n \cdot (2n-1)}{1 \cdot 2} \right\} \\ - (n-3)^{2n-1} \left\{ 1 + \frac{2n}{1} + \frac{2n \cdot (2n-1)}{1 \cdot 2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \cdot \frac{2n \cdot (2n-1) \cdot (2n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} \right\} \\ + \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \end{array} \right\}$$

Pero ella seguiría un camino más desafiante, pues «nuestro objetivo no es la sencillez [...], sino la ilustración de los poderes de la máquina».

Lady Lovelace concebía un proceso, una serie de reglas, una secuencia de operaciones. En otro siglo se habría llamado un algoritmo y luego un programa de computador, pero de momento el concepto requería una explicación muy meticulosa. El punto más peliagudo era que su algoritmo era recursivo. Caía en un callejón sin salida. El resultado de una iteración es el alimento de la siguiente. Babbage había aludido a este planteamiento al hablar de «la Máquina que se

muerde la cola».^[4.84] A. A. L. decía: «Fácilmente vemos que como cada función sucesiva se presenta en una serie que sigue las mismas leyes, tendríamos el ciclo de un ciclo de otro ciclo de otro ciclo, etc. [...] La cuestión es tan extraordinariamente complicada que es de suponer que haya pocas personas capaces de seguir el hilo [...] Sin embargo, es importantísima por lo que respecta a la máquina, y sugiere ideas peculiares para ella, que lamentaríamos no aludir pasando completamente de largo ante ellas».^[4.85]

Una idea fundamental era la entidad que Babbage y ella llamaban la *variable*. Las variables eran, en términos de componentes mecánicos o hardware, las columnas de discos de números de la máquina. Pero además había «tarjetas variables». En términos de software eran una especie de receptáculo o sobre, capaz de representar o almacenar un número con muchos dígitos decimales. («¿Qué hay en un nombre?», decía Babbage. «Es simplemente una cesta vacía hasta que se pone algo dentro»). Las variables eran las unidades de información de la máquina. Era una forma muy distinta de variable algebraica. Como explica A. A. L., «el origen de esta denominación es que los valores de las columnas están destinados a cambiar, es decir a variar, de todas las formas imaginables». Los números *viajaban*, de hecho, de las tarjetas variables a las variables, de las variables al molino (para las operaciones), y del molino al almacén. Para resolver el problema de generar números de Bernoulli, Ada coreografió una complicada danza. Trabajaba todos los días y a veces toda la noche, enviando mensajes a Babbage de una punta a otra de Londres, luchando contra la enfermedad y unos dolores terribles, con la mente lacerada:

Mi cerebro es algo más que simplemente *mortal*; como el tiempo se encargará de demostrar; (ojalá mi *respiración* y otros etcéteras más no hagan unos progresos demasiado rápidos *hacia* la mortalidad y no *desde* ella).

Antes de que pasen diez años, será cosa del diablo si no he logrado absorber parte de la savia de los misterios del universo, como no podrían absorberla unos labios o un cerebro puramente mortales.

Nadie sabe qué energía y qué poder casi *terrible* se oculta todavía sin desarrollar en este organismo mío tan *vigoroso*. Y digo *terrible* porque puede usted imaginarse lo que sería en ciertas circunstancias [...]

Estoy atacando tenazmente y apurando hasta el fondo todas las formas de deducir los números de Bernoulli [...] Estoy luchando cuerpo a cuerpo con este tema y *relacionándolo* con otros.^[4.86]

Ada estaba programando la máquina. Y la programaba mentalmente porque no existía. Las complejidades que encontraba por primera vez resultarían familiares a los programadores del siguiente siglo:

¡Qué variadas y cuán recíprocamente complicadas son las consideraciones que implica el funcionamiento de semejante máquina! Muchas veces hay varios juegos distintos de efectos actuando simultáneamente; todos independientemente unos de otros, y sin embargo en mayor o menor grado ejerciendo una influencia mutua. Ajustar unos a otros individualmente y de hecho incluso percibirlos y reproducirlos con perfecta exactitud y acierto, comporta dificultades cuya naturaleza tiene hasta cierto punto que ver con las que plantea toda cuestión en la que las condiciones son muy numerosas y están entrelazadas.^[4.87]

Informaba de sus sensaciones a Babbage: «Estoy consternadísima por haberme metido en un atolladero y un fastidio tan increíble».^[4.88] Y nueve días después decía: «Creo que mis planes y mis ideas siguen ganando claridad y van asumiendo una forma más *crystalina* y menos *nebulosa*».^[4.89] Sabía que había conseguido algo absolutamente nuevo. Otros diez días después, peleándose por las pruebas finales con «la imprenta del Sr. Taylor» en Fleet Street, afirmaba: «No creo que posea usted ni la mitad de *mi* precaución y de mi capacidad de prever todas las contingencias *posibles* (*probables* e *improbables*, tanto unas como otras). [...] *No* creo que mi padre fuera (ni hubiera podido ser) un *poeta* como la *analista* que *seré yo*; (y metafísica); pues en mí las dos cosas van indisolublemente unidas».^[4.90]

¿Quién iba a usar esa máquina? Ni oficinistas ni tenderos, diría el hijo de Babbage muchos años después. La aritmética corriente no fue nunca su finalidad. «Sería como usar el martillo pilón para cascar una nuez.»^[4.91] Y parafraseando a Leibniz añadía: «No está hecha para los que venden verduras o pescaditos, sino para los observatorios, o para los estudios privados de los calculadores, o para otros que puedan fácilmente soportar el gasto, y necesiten hacer una gran cantidad de cálculos». La máquina de Babbage no había sido bien comprendida ni por su gobierno ni por los numerosos amigos que habían pasado por sus salones, pero en su época su influencia llegaría muy lejos.

En Estados Unidos, un país rebotante de inventos y de optimismo científico, Edgar Allan Poe escribió: «¿Qué debemos pensar de la máquina calculadora del

señor Babbage? ¿Qué debemos pensar de un aparato de madera y metal que puede [...] hacer matemáticamente segura la exactitud de sus operaciones gracias a la capacidad que tiene de corregir sus posibles errores?». [4.92] Ralph Waldo Emerson había conocido a Babbage en Londres y declaró en 1870: «El vapor es un gran sabio y un chico muy fuerte, pero todavía no ha dado de sí todo lo que tiene que dar». [4.93]

Ya anda por el campo como un hombre y hará cualquier cosa que se le pida. Riega los cultivos y es capaz de allanar una montaña. Se encarga de coser nuestras camisas, y de mover nuestras lanchas; instruido por el señor Babbage, calculará intereses y logaritmos [...] Y todavía va a rendir otros servicios más elevados de carácter mecánico-intelectual.

Pero sus maravillas también provocaron desaprobación. Algunos críticos temían una rivalidad entre los mecanismos y la mente. «¡Menuda sátira contra los simples matemáticos es esa máquina!», decía Oliver Wendell Holmes Sr. «Un monstruo de Frankenstein, una cosa sin cerebro y sin corazón, demasiado estúpida como para meter la pata, que proporciona resultados igual que una desgranadora de cereales, pero no hará que sean más sabios ni mejores, por más que muele mil celemines.» [4.94] Todos hablaban como si la máquina fuera real, pero de hecho nunca llegó a serlo. Se quedó esperando pacientemente a que llegara su futuro.

A medio camino entre su época y la nuestra, el *Dictionary of National Biography* dedicaba a Babbage un brevísimo artículo, carente casi por completo de relevancia o consecuencia:

Matemático y experto en ciencias mecánicas; [...] obtuvo una ayuda del gobierno para fabricar una máquina de calcular [...] pero las labores de construcción cesaron, debido a discrepancias con el ingeniero; ofreció al gobierno un diseño perfeccionado, que fue rechazado debido a su coste; [...] titular de la Cátedra Lucasiana de matemáticas de Cambridge, aunque no daba clases.

Los intereses de Babbage, pese a alejarse tanto de las matemáticas y ser aparentemente tan variados, tenían en común un hilo conductor que ni él ni sus

contemporáneos pudieron percibir. Sus obsesiones no pertenecían a ninguna categoría; mejor dicho, a ninguna categoría ya existente. Su verdadero objeto era la información: el envío de mensajes, la codificación y el procesamiento.

Aceptó dos retos curiosos y aparentemente no filosóficos que, como él mismo hizo constar, estaban profundamente relacionados entre sí: forzar cerraduras y descifrar códigos. El desciframiento, decía, era «una de las artes más fascinantes, y me temo que he perdido en ello más tiempo del que merece».^[4.95] Para racionalizar el proceso, decidió llevar a cabo un «análisis completo» de la lengua inglesa. Creó varios grupos de diccionarios especiales: listas de palabras de una sola letra, de dos letras, de tres letras, etc., etc.; y letras de palabras alfabetizadas por su primera letra, por la segunda, por la tercera, etc. Con los instrumentos a su alcance diseñó metodologías para resolver diversos pasatiempos, como anagramas y crucigramas.

En los anillos de los troncos de los árboles vio la forma que tenía la naturaleza de codificar mensajes sobre el pasado. Una lección muy profunda, eso de que un árbol registre todo un complejo de información en su sustancia sólida. «Cada chaparrón que cae, cada cambio de temperatura que se produce y cada viento que sopla, deja en el mundo vegetal las huellas de su paso; ligero, desde luego, e imperceptible, acaso, para nosotros, pero no por ello deja de ser registrado de forma permanente en las profundidades de esos tejidos leñosos.»^[4.96]

En los talleres de Londres había observado los tubos parlantes, hechos de plomo, «por medio de los cuales las órdenes del superintendente son comunicadas al instante a los lugares más remotos». Calificaba esta tecnología de gran contribución a la «economía del tiempo» y comentaba que todavía no había descubierto nadie un límite a la distancia a la que podían viajar los mensajes de voz. Hacía un cálculo rápido: «Admitiendo que fuera posible [instalar esos tubos] entre Londres y Liverpool, pasarían unos diecisiete minutos antes de que las palabras pronunciadas en un extremo de la tubería llegaran al otro extremo».^[4.97] En la década de 1820 se le ocurrió una idea para transmitir mensajes escritos, «encerrados en pequeños cilindros a través de cables colgados de postes y de las torres o los pináculos de las iglesias», y construyó un modelo de funcionamiento en su casa de Londres.^[4.98] Llegó a obsesionarse con otras variaciones sobre el tema del envío de mensajes a las mayores distancias

posibles. La saca postal despachada por la noche desde Bristol, señalaba, pesaba menos de cien libras. Para enviar esos mensajes a unos doscientos cincuenta kilómetros, «se ponen en movimiento un coche y un equipo que pesan más tres mil, y son enviados más o menos a la misma distancia».^[4.99] ¡Qué despilfarro! Supongamos, en cambio, decía, que los destinos postales estuvieran unidos por una serie de postes bien altos plantados más o menos cada treinta metros. Unos cables de acero irían de poste a poste. Dentro de las ciudades los pináculos de las iglesias podrían hacer de postes. Unas cajitas de plomo con ruedas correrían por los cables cargadas con manojos de cartas. El gasto sería «relativamente irrisorio», decía, «y no sería absurdo pensar que el propio cable tendido de poste a poste pudiera servir para una especie de comunicación telegráfica todavía más rápida».

Durante la Gran Exposición de 1851, en la cual Inglaterra hizo ostentación de sus grandes logros industriales en el Palacio de Cristal, Babbage colocó una lámpara de petróleo con una pantalla movable en la ventana de un primer piso de Dorset Street para crear un aparato de «luz misteriosa» que mandara intermitentemente señales codificadas a los transeúntes. Elaboró un sistema estandarizado para el envío de señales numéricas para uso de los faros y envió por correo doce copias, según dijo, a «las autoridades competentes de los grandes países marítimos». En los Estados Unidos el Congreso aprobó asignar cinco mil dólares a un proyecto de pruebas del sistema de Babbage. Estudió las señales solares y las «señales de luz cenital»,^[4.100] lanzadas por espejos, y señales del horario de Greenwich para su transmisión a los marinos. Para la comunicación entre los barcos encallados y sus rescatadores en la costa propuso que todos los países adoptaran una lista estándar de cien preguntas y respuestas, números fijados de antemano, «que todos los barcos debían llevar impresos en tarjetas y colgar en diversos lugares de la nave». Señales de ese estilo, decía, podrían resultar útiles también para el ejército, para la policía, para el ferrocarril, e incluso «con diversos fines sociales», para los habitantes del país.

Esos fines no eran ni mucho menos obvios. «¿Con qué fines va a resultar útil el telégrafo eléctrico?», pregunto el rey de Cerdeña, Carlos Alberto, a Babbage en 1840. El inventor buscó mentalmente un ejemplo, «y por fin indiqué la probabilidad de que, por medio de telégrafos eléctricos, la armada de Su Majestad podría recibir el aviso de la llegada de una tormenta...».

Esto dio lugar a una nueva teoría de las tormentas, sobre la cual el rey se mostró muy curioso. Me esforcé en aclarársela poco a poco. Cité, a modo de ilustración, una tormenta que había tenido lugar poco antes de que saliera de Inglaterra. Los daños que había causado en Liverpool habían sido muy grandes, y en Glasgow inmensos [...] Añadí que si hubiera habido una comunicación eléctrica entre Génova y unas cuantas otras ciudades los habitantes de Glasgow habrían podido tener información de esas tormentas veinticuatro horas antes de su llegada.^[4.101]

En cuanto a la máquina, tuvo que ser olvidada para que luego alguien la recordara. No tenía un linaje evidente. Se volvió a materializar como un tesoro escondido e inspiró cierta sensación de asombro desconcertado. Cuando la era de los ordenadores estaba ya en su apogeo, la historiadora Jenny Uglow veía en las máquinas de Babbage «un concepto distinto de anacronismo».^[4.102] Esos inventos fallidos, decía, contienen «ideas que yacen como proyectos amarillentos en armarios oscuros, para ser descubiertas de nuevo por las generaciones futuras».

Proyectada primero con la idea de generar tablas de números, la máquina en su forma actual ha hecho que las tablas numéricas resulten obsoletas. ¿Previó Babbage una cosa así? Lo que desde luego se preguntó es cómo utilizaría el futuro su invento. Conjeturaba que pasaría medio siglo antes de que nadie intentara crear de nuevo una máquina computadora de uso general. En efecto, se tardaría más de un siglo en cimentar el sustrato tecnológico necesario. «Si alguien», decía, «sin tener conocimiento de mi ejemplo, emprende la construcción efectiva de una máquina que encarne en sí a todo el departamento ejecutivo de análisis matemático a partir de principios distintos o a través de medios mecánicos más simples, no tengo ningún miedo a dejar mi reputación en sus manos, pues solo él será plenamente capaz de apreciar la naturaleza de mis esfuerzos y el valor de sus resultados».^[4.103]

Cuando miraba hacia el futuro, veía un papel especial para una sola verdad por encima de todas las demás: «La máxima de que el conocimiento es poder». Y concebía esa máxima en sentido literal. El conocimiento «es de por sí generador de fuerza física», afirmaba. La ciencia había dado al mundo el vapor y sospechaba que pronto se volcaría en el poder menos tangible de la electricidad: «Ya casi ha logrado encadenar ese fluido etéreo». Y miraba todavía más lejos:

Es la ciencia del *cálculo* la que se hace continuamente más necesaria a cada paso que da nuestro progreso y la que en último término debe gobernar en su totalidad la aplicación de la ciencia a las artes de la vida.

Pocos años antes de su muerte, dijo a un amigo suyo que de buena gana renunciaría a todo el tiempo que le quedara de vida, fuese el que fuese, con tal de que le permitieran vivir tres días cinco siglos después.

En cuanto a su joven amiga Ada, condesa de Lovelace, murió muchos años antes que él, a consecuencia de una dolorosa y larga enfermedad de cáncer de útero. Sus sufrimientos apenas lograron ser paliados mediante el uso del láudano y el cannabis. Durante largo tiempo su familia le ocultó la verdad de su enfermedad. Al final comprendió que iba a morir. «Dicen que *los acontecimientos por venir arrojan su sombra con antelación*», comentaba en una carta a su madre.^[4.104] «¿No podrían alguna vez arrojar su *luz* con anterioridad?». Fue enterrada junto a su padre.

Ella también tenía un último sueño, una última visión del futuro: «Ser en el *tiempo* una *autócrata*, a mi manera». Tendría a sus órdenes regimientos que desfilarían ante ella. Los opresores de la tierra tendrían que rendirse a sus pies. ¿Y de qué estarían hechos esos regimientos suyos? «De momento no quiero divulgarlo. Sin embargo, tengo la esperanza de que sean las tropas más *armónicamente* disciplinadas, al estar compuestas de *números* inmensos, desfilando con una fuerza irresistible al son de la *Música*. ¿Verdad que es muy misterioso? Desde luego *mis* tropas tienen que estar compuestas de *números*, o no existirán [...] Pero por otra parte, ¿*qué* son esos *números*? Es un enigma...»^[4.105]

UN SISTEMA NERVIOSO PARA LA TIERRA

(¿Qué puede uno esperar de unos cuantos cables retorcidos?)

¿Es un hecho —o tal vez lo he soñado— que, por medio de la electricidad, el mundo de la materia se ha convertido en un gran nervio que vibra a miles de kilómetros en un suspiro? ¡Más bien la redondez del globo es una enorme cabeza, un cerebro, un instinto con inteligencia! ¿O debemos decir que es un pensamiento, nada más que un pensamiento, y no ya la sustancia que creíamos que era?^[5.1]

NATHANIEL HAWTHORNE (1851)

Tres empleados en un pequeño cuarto del piso superior de la Ferry House de Jersey City se encargaban de todo el tráfico telegráfico de Nueva York en 1846 y tampoco era que se mataran a trabajar.^[5.2] Administraban uno de los extremos del único par de cables que iban a Baltimore y a Washington. Los mensajes que llegaban eran copiados a mano, cruzados en ferry por el río Hudson hasta el muelle de Liberty Street, y entregados en la primera oficina de la Magnetic Telegraph Company, sita en el número 16 de Wall Street.

En Londres, donde el río planteaba menos dificultades, unos capitalistas formaron la Electric Telegraph Company y empezaron a fabricar los primeros hilos de cobre, trenzados en forma de cable, recubiertos de gutapercha, y tendidos a través de tuberías de acero, sobre todo a lo largo de las nuevas vías férreas. Para albergar la oficina central la empresa alquiló Founder's Hall, en Lothbury, enfrente del Banco de Inglaterra, y para hacer publicidad de su presencia instaló convenientemente un moderno reloj eléctrico, pues el tiempo

del ferrocarril era ya tiempo telegráfico. En 1849 la oficina del telégrafo se jactaba de tener ocho aparatos, que operaban día y noche. De suministrar la energía se encargaban cuatrocientas baterías. «Tenemos ante nosotros una pared estucada, decorada con un reloj eléctrico iluminado», informaba en 1854 el periodista Andrew Wynter. «¿Pensaríamos que detrás de esta estrecha frente se encuentra el gran cerebro —si se nos permite denominarlo así— del sistema nervioso de Gran Bretaña?»^[5.3] No era el primero ni sería el último en parangonar el telégrafo eléctrico con un sistema biológico de conexiones: en comparar los cables con los nervios y la nación o la tierra entera con el cuerpo humano.^[5.4]

La analogía relacionaba un fenómeno sorprendente con otro. La electricidad era un enigma envuelto en un misterio rayano en lo mágico, y tampoco había nadie que entendiera lo que eran los nervios. Estos se sabía al menos que conducían una forma de electricidad y que tal vez de ese modo hacían de canales a través de los cuales el cerebro ejercía el control del cuerpo. Los anatomistas que examinaban las fibras nerviosas se preguntaban si no estarían acaso envueltas en la propia versión corporal de la gutapercha. Quizá los nervios no fueran solo *como* los cables; quizá *fuera*n cables que llevaban mensajes desde las regiones más profundas hasta los órganos sensoriales. Alfred Smee, en sus *Elementos de Electrobiología*, publicados en 1849, comparaba el cerebro a una batería y los nervios a «biotelégrafos».^[5.5] Como cualquier metáfora demasiado manida, esta no tardó en hacerse blanco de la sátira. El reportero de un periódico de Menlo Park, al descubrir a Thomas A. Edison paralizado por un resfriado de cabeza, escribió: «Vino el médico y estuvo mirándolo, explicó la relación de los nervios trigéminos y su analogía con un telégrafo eléctrico de tres cables y comentó de paso que en las neuralgias faciales cada diente debía ser considerado como una estación telegráfica con su correspondiente operador».^[5.6] La llegada del teléfono vino a reforzar la analogía. «Está al alcance de la mano el tiempo», proclamaba *Scientific America* en 1880, «en el que los miembros dispersos de las comunidades civilizadas estén tan unidos, a consecuencia de las comunicaciones telefónicas, como lo están hoy día los diversos miembros del cuerpo a través del sistema nervioso».^[5.7] Considerando la dosis de especulación que había en ella, hay que reconocer que la comparación era bastante buena. Los nervios, efectivamente, transmiten mensajes, y el telégrafo y el teléfono

empezaban a convertir por primera vez a la sociedad humana en algo parecido a un organismo cohesionado.

En sus primeros momentos estos inventos provocaron un entusiasmo sin precedentes en los anales de la tecnología. La alegría pasaba de un lugar a otro a través de los diarios y las revistas mensuales y, más concretamente, a través de los propios cables. De la noche a la mañana se propagó una nueva idea del futuro: la sensación de que el mundo se hallaba en un estado de cambio, de que la vida de los hijos y los nietos de la gente de la época iba a ser distinta, debido precisamente a esa fuerza y los usos que de ella se hicieran. «La electricidad es la poesía de la ciencia», afirmaba un historiador americano en 1852.^[5.8]

No era ya que todo el mundo supiera lo que era la electricidad. «Un agente invisible, intangible, imponderable», decía una autoridad.^[5.9] Todo el mundo estaba de acuerdo en que comportaba una «condición especial» o de moléculas o de éter (a su vez un concepto nebuloso y en último término condenado al fracaso). En el siglo XVII, Thomas Browne describía los efluvios eléctricos como «hebras de almíbar que se alargan y se encogen». En el siglo XVIII, Benjamin Franklin, como si de un globo sonda se tratara, demostró «el parecido del relámpago con la electricidad», e identificaba los terribles rayos del cielo con las extrañas chispas y corrientes terrestres. Franklin se inspiraba en el abate Jean-Antoine Nollet, filósofo natural y un poquito teatrero, que en 1748 dijo: «La electricidad en nuestras manos es como el rayo en manos de la naturaleza», y para demostrarlo organizó un experimento usando una botella de Leyden y un cable de acero que enviaría una descarga a través de doscientos monjes cartujos colocados en un círculo de kilómetro y medio. A partir de los botes, sobresaltos, convulsiones, y gritos simultáneos de los frailes, los espectadores juzgaron que el mensaje —cuyo contenido de información era pequeño, pero no nulo— había recorrido el círculo a una velocidad fantástica.

Luego sería Michael Faraday en Inglaterra el que más hiciera para que la electricidad dejara de ser magia y se convirtiera en ciencia, pero aun así, en 1854, cuando Faraday estaba en el punto culminante de sus investigaciones, Dionysius Lardner, el escritor de temas científicos que tanto admiraba a Babbage, declararía de forma bastante precisa: «El mundo de la ciencia no está de acuerdo respecto al carácter físico de la electricidad».^[5.10] Unos creían que era un fluido «más ligero y más sutil» que cualquier gas; otros sospechaban que

era un compuesto de dos fluidos «con propiedades antagónicas»; y otros, por su parte, pensaban que la electricidad no era ningún fluido, sino algo parecido al sonido: «Una serie de ondulaciones o vibraciones». *Harper's Magazine* advertía que la «corriente» no era más que una metáfora y añadía misteriosamente: «No debemos concebir que la electricidad transporta el mensaje que escribimos, sino más bien que permite al operador que está al otro extremo de la línea escribir otro similar».^[5.11]

Fuera cual fuese su naturaleza, la electricidad era considerada una fuerza natural situada bajo el control del hombre. Un periódico recién fundado de Nueva York, *The Times*, la explicaba comparándola con el vapor:

Los dos son agentes poderosos e incluso formidables arrebatados a la naturaleza por la habilidad y la fuerza del hombre. Pero la electricidad es con mucho la energía más sutil de las dos. Es un elemento original de la naturaleza, mientras que el vapor es un producto artificial [...] La electricidad, combinada con el magnetismo, es un agente más subjetivo y, cuando es desarrollado para su transmisión, es capaz de llegar, mensajero seguro y veloz, hasta los confines del mundo habitado.^[5.12]

Volviendo la vista hacia el pasado, los poetas encontraban la edad moderna profetizada en un versículo del libro de Job: «¿A tu orden los relámpagos parten diciéndote: “¡Aquí estamos!”?»^[5.13]

Pero el relámpago no *decía* nada: fulguraba, estallaba, y quemaba, pero transmitir un mensaje requería cierto ingenio. En manos del hombre, la electricidad no podía hacer gran cosa al principio. No podía hacer que una luz brillara más que una chispa. Era silenciosa. Pero podía ser enviada por cable a grandes distancias —esta capacidad fue descubierta muy pronto— y daba la impresión de que convertía los hilos en pequeños imanes. Esos cables podían ser muy largos: nadie había encontrado un límite al alcance de la corriente eléctrica. No se tardó mucho en descubrir lo que eso significaba para el viejo sueño de la comunicación a larga distancia. Eran las agujas simpáticas.

Había que resolver problemas prácticos: fabricar cables, aislarlos, almacenar corrientes, medirlas. Había que inventar todo un reino de la ingeniería. Pero aparte de los problemas de ingeniería había otro distinto: el del propio mensaje. Se trataba de un rompecabezas más lógico que técnico. Era un problema de

cruzar niveles, de pasar de la cinética al significado. ¿Qué forma iba a adoptar el mensaje? ¿Cómo iba el telégrafo a convertir ese fluido en palabras? En virtud del magnetismo, la influencia propagada a través de la distancia podía ejecutar una acción sobre ciertos objetos físicos, como agujas o limaduras de hierro, o incluso pequeñas palancas. A los distintos inventores se les fueron ocurriendo distintas ideas: el electroimán podía tocar un timbre de alarma; podía gobernar el movimiento de un mecanismo; o podía hacer girar una manivela, que podía sujetar una pluma (aunque la ingeniería decimonónica no estaba al nivel de la escritura robótica). La corriente podía también disparar un cañón. ¡Imaginemos lo que sería disparar un cañón enviando una señal a varios kilómetros de distancia! Los inventores en ciernes naturalmente volvían sus ojos hacia tecnologías de la comunicación anteriores, pero los precedentes eran en su mayor parte intentos fallidos.

Antes de que existiera el telégrafo eléctrico, había simplemente telégrafos: *les télégraphes*, inventados y bautizados por Claude Chappe en Francia durante la Revolución.^(5.14) Eran de naturaleza visual; un «telégrafo» era una torre para enviar señales a otras torres situadas a la vista. El problema consistía en inventar un sistema de señales más eficaz y flexible que, pongamos por caso, las hogueras. En colaboración con un compañero de transmisión, su hermano Ignace, Claude ensayó una serie de sistemas diversos, que fueron evolucionando a lo largo de un período de varios años.

El primero era muy singular e ingenioso. Los hermanos Chappe dieron cuerda a un par de relojes de péndulo con el fin de que sonaran al mismo tiempo, cada uno con sus agujas girando alrededor de la esfera a una velocidad relativamente alta. Hicieron semejante experimento en su ciudad natal, Brûlon, a unos ciento cincuenta kilómetros al oeste de París. Ignace, el emisor, debía esperar a que la aguja llegara a un número fijado de antemano y en ese instante enviaría una señal tocando una campana o disparando una pistola o simplemente, como solían hacer, golpeando una cacerola. Al oír el sonido, Claude, situado a unos cuatrocientos metros, leería el número correcto en su reloj. Podría convertir el número en palabras cotejándolo con una lista acordada de antemano. Esta idea de comunicación a través de relojes sincronizados reaparecería en el siglo XX,

en los experimentos mentales de los físicos y en los aparatos electrónicos, pero en 1791 no llevaba a ninguna parte. Uno de los fallos era que las dos estaciones tenían que estar unidas por la vista y el oído (y en tal caso, los relojes no tenían mucho más que aportar). Otro era el problema de sincronizar primero los relojes y luego mantenerlos sincronizados. En último término, sería la transmisión de mensajes a larga distancia lo que haría la sincronización posible y no al revés. El proyecto se hundió bajo el peso de su propia ingeniosidad.

Mientras tanto, los dos hermanos Chappe se las arreglaron para atraer al proyecto a otros dos hermanos suyos, Pierre y René, con una cuadrilla de funcionarios municipales y notarios como testigos.^[5.15] El siguiente intento prescindió de los relojes y del sonido. Los Chappe construyeron una gran estructura de madera con cinco postigos corredizos, que podían levantarse y bajarse mediante unas poleas. Utilizando todas las combinaciones posibles, este «telégrafo» podía transmitir un alfabeto de treinta y dos símbolos: 2^5 , otro código binario, aunque no se han conservado los detalles. Claude había pedido una subvención a la Asamblea Legislativa, que acababa de ser creada, así que hizo un experimento enviando un mensaje optimista desde Brûlon: «*L'Assemblée Nationale récompensera les expériences utiles au public*» («La Asamblea Nacional recompensará los experimentos de utilidad pública»). Las ocho palabras tardaron seis minutos y veinte segundos en ser transmitidas, y no se vieron reflejadas en la realidad.

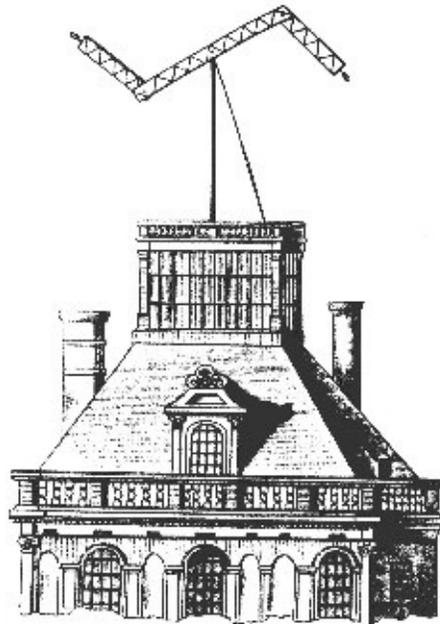
La Francia revolucionaria era un escenario bueno y malo a la vez para la experimentación modernizadora. Cuando Claude construyó un prototipo de telégrafo en el parque de Saint-Fargeau, al nordeste de París, una muchedumbre recelosa lo quemó y lo redujo a cenizas, temerosa de que enviara mensajes secretos. El ciudadano Chappe siguió buscando una tecnología tan rápida y eficaz como otro aparato que acababa de ser inventado, la guillotina. Diseñó un mecanismo formado por una gran viga transversal que sujetaba dos brazos enormes que eran manejados con cuerdas. Como tantas otras máquinas primitivas, el diseño era vagamente antropomórfico. Los brazos podían moverse en siete ángulos distintos (no ocho, pues uno habría ocultado el brazo detrás del travesaño), con incrementos de cuarenta y cinco grados, y la viga también podía rotar, todo ello bajo el control de un operador situado debajo, que se encargaba de manipular un sistema de manivelas y poleas. Para perfeccionar este complejo

mecanismo Chappe recurrió a Abraham-Louis Breguet, el famoso relojero.

Por complicado que fuera el problema del control, la cuestión de crear un código adecuado resultó mucho más difícil. Desde un punto de vista estrictamente mecánico, los brazos y el travesaño podían adoptar cualquier ángulo —las posibilidades eran infinitas—, pero para que la señalización fuera eficaz Chappe tenía que limitar esas posibilidades. Cuantas menos posiciones significativas hubiera, menos serían las posibilidades de confusión. Decidió fijar solo dos para la viga transversal, aparte de las siete de cada brazo, lo que daba un espacio simbólico de noventa y ocho posiciones posibles ($7 \times 7 \times 2$). En vez de limitarse a usarlas para representar letras y números, Chappe se propuso inventar un código más elaborado. Algunas señales fueron reservadas para la corrección y el control de errores: comienzo y parada, reconocimiento, demora, conflicto (una torre no podía enviar mensajes en las dos direcciones a la vez), y fallo. Otras eran utilizadas por parejas, indicando al operador las páginas y los números de línea de unos códigos especiales que contenían más de ocho mil artículos potenciales: palabras y sílabas, así como nombres propios de persona y de lugar. Todo ello era un secreto cuidadosamente guardado. Al fin y al cabo, los mensajes debían ser transmitidos a cielo descubierto, y cualquiera habría podido verlos. Chappe daba por descontado que la red telegráfica que soñaba sería un organismo del estado, una propiedad del gobierno operada también por este. No la veía como un medio de conocimiento o de enriquecimiento, sino como un instrumento de poder. «Llegará el día», decía, «en el que el gobierno será capaz de realizar la idea más grande que podamos tener del poder, utilizando el sistema teleográfico para expandir directamente cada día, cada hora y de manera simultánea, su influencia sobre toda la república».^[5.16]

Con el país en guerra y la autoridad en manos de la Convención Nacional, Chappe consiguió llamar la atención de algunos legisladores influyentes. «El ciudadano Chappe ofrece un ingenioso método de escribir en el aire, utilizando un pequeño número de símbolos formados simplemente por segmentos de línea recta»,^[5.17] informaba uno de ellos, Gilbert Romme, en 1793. Romme persuadió a la Convención de que se asignaran seis mil francos para la construcción de tres torres de telégrafo en una línea al norte de París, a una distancia de entre 12 y 14 kilómetros. Los hermanos Chappe actuaron con rapidez y a finales de verano realizaron una triunfal demostración ante una audiencia de diputados. A estos les

gustó lo que vieron: un medio eficaz de recibir noticias de la frontera militar y de transmitir sus órdenes y sus decretos. Asignaron a Chappe un salario, le concedieron el uso de un caballo a cuenta del gobierno, y le dieron un nombramiento oficial como *ingénieur télégraphe*. Claude empezó a trabajar en una línea de estaciones de casi doscientos kilómetros de longitud, desde el Louvre, en París, hasta Lille, en la frontera norte. En menos de un año tenía dieciocho de ellas operativas y llegaron los primeros mensajes de Lille: afortunadamente fueron noticias de victorias sobre los prusianos y los austriacos. La Convención estaba entusiasmada. Un diputado citó un conjunto de cuatro grandes inventos de la humanidad: la imprenta, la pólvora, la brújula, y «el lenguaje de los signos telegráficos».^[5.18] Tenía razón en centrar la atención sobre el lenguaje. En términos de componentes mecánicos —hardware—, esto es cuerdas, palancas y vigas de madera, los Chappe no habían inventado nada nuevo.



Telégrafo Chappe.

Comenzó la construcción de estaciones en ramales que se extendían por el este hasta Estrasburgo, por el oeste hasta Brest, y por el sur hasta Lyon. Cuando Napoleón Bonaparte se hizo con el poder en 1799, ordenó que se enviara un mensaje en todas las direcciones —*Paris est tranquille et les bons citoyens sont*

contents («París está tranquilo y los buenos ciudadanos están contentos»)— y enseguida encargó una línea de más estaciones que debía llegar hasta Milán. El sistema de telégrafos estaba estableciendo un nuevo patrón de velocidad de las comunicaciones, pues en realidad la única competencia que tenía era el correo a lomos de caballo. Pero la velocidad podía medirse de dos maneras: en términos de distancia o en términos de símbolos y palabras. Chappe afirmó en una ocasión que una señal podía ir de Toulon a París —una línea de 120 estaciones a lo largo de casi ochocientos kilómetros— en apenas diez o doce minutos.^[5.19] Pero no podía decir lo mismo de todo un mensaje, aunque fuera uno relativamente corto. Tres señales por minuto era lo más que cabía esperar incluso del operador telegráfico más veloz. El siguiente operador de la cadena, mirando a través de un telescopio, tenía que apuntar a mano cada señal en un cuaderno, reproducirla accionando sus propias clavijas y poleas, y asegurarse de que había sido recibida correctamente por la siguiente estación. La cadena de señales era vulnerable y delicada: la lluvia, la niebla, o un operador poco atento podían arruinar cualquier mensaje. Cuando se midieron las cuotas de efectividad en la década de 1840, se descubrió que solo dos de cada tres mensajes llegaban en un día a su destino durante los meses de calor, mientras que en los de invierno esa tasa bajaba a uno de cada tres. Además, codificar y descodificar llevaba tiempo, pero solo al principio y al final de la línea. Se suponía que los operadores de las estaciones intermedias pasaban las señales sin entenderlas. De hecho, muchos *stationnaires* eran analfabetos.



Red de telégrafos francesa.

Cuando llegaban los mensajes, no siempre era posible fiarse de ellos. Muchas estaciones intermedias suponían muchas posibilidades de error. Los niños de cualquier país lo saben bien pues están habituados a jugar un juego de mensajes que en Gran Bretaña se llama *Chinese Whispers*, en chino 以讹传讹, en Turquía «De oído a oído», y en los Estados Unidos simplemente el «Teléfono». (En España se llama también el Teléfono o el Teléfono Escacharrado). Cuando sus colegas manifestaron su desinterés por el problema de la corrección de errores, Ignace Chappe se lamentó diciendo: «Probablemente no han hecho experimentos con más de dos o tres estaciones».^[5.20]

Hoy día los viejos telégrafos han sido olvidados, pero en su época causaron auténtica sensación. En Londres, un artista y compositor de canciones del Drury Lane llamado Charles Dibdin incluyó el invento en un espectáculo musical de 1794 y pronosticaba para él un futuro maravilloso:

Solo con tal de que me prometáis que no os vais a reír,
me pondré a explicaros lo que es el telégrafo francés.
Una máquina dotada de tan maravilloso poder
que escribe, lee y envía noticias a doscientas leguas en una hora.

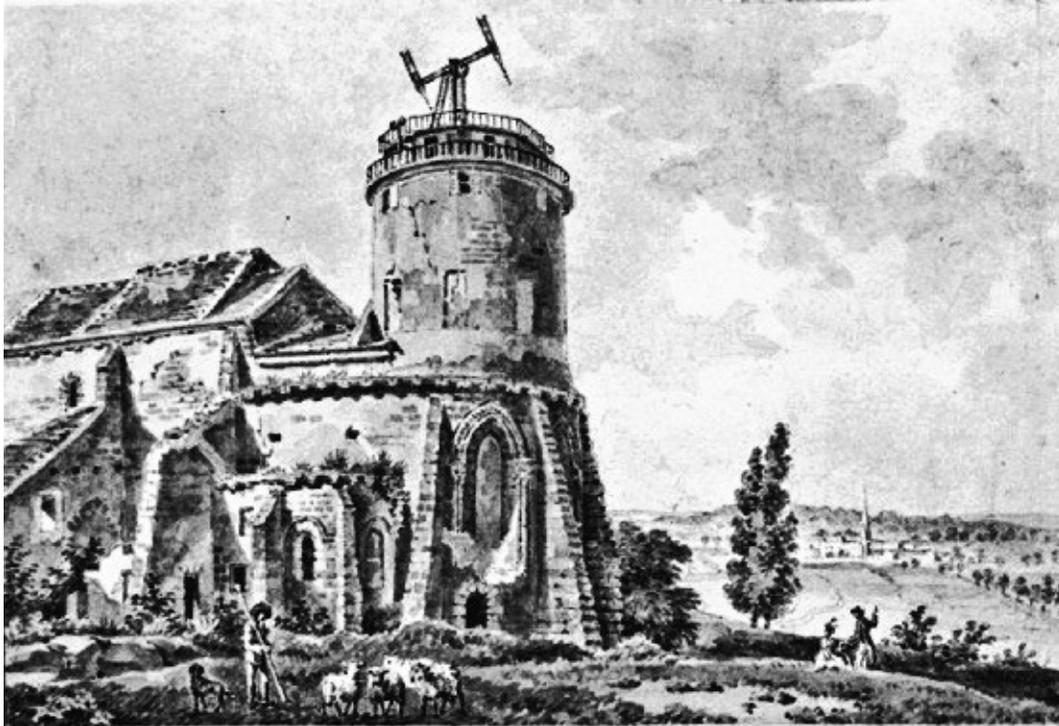
...

¡Oh! Los aficionados a la lotería se harán ricos como judíos:
en vez de palomas mensajeras para que les manden noticias,
pondrán una casa de telegramas en Old Ormond Quay.
¡Echa otro barco al mar!

...

¡Adiós, cartas de a chavo! ¡Correos y posta, adiós!
Vuestra labor ya no existe, estáis más que acabados:
en vuestro lugar, veremos telégrafos en nuestras casas
que nos dirán la hora, traerán la luz, secarán las camisas y mandarán avisos. [\[5.21\]](#)

Las torres del telégrafo se extendieron por toda Europa y aun más allá, y sus ruinas salpican hoy día los campos de muchos países. Telegraph Hill, Telegrafberget, Telegraphen-Berg son topónimos que contienen vestigios de ellas. Suecia, Dinamarca y Bélgica desarrollarían enseguida sistemas basados en el sistema francés. Alemania no tardó en seguir sus pasos. En 1823 empezó a operar una línea entre Calcuta y Chunar; entre Alejandría y El Cairo en 1824; y en Rusia, Nicolás I montó doscientas veinte estaciones desde Varsovia hasta San Petersburgo y Moscú. Las torres del telégrafo tenían el dominio de las comunicaciones del mundo entero y luego, con la misma rapidez con la que surgieron, quedaron obsoletas. El coronel Tagliaferro Shaffner, un inventor e historiador de Kentucky, viajó a Rusia en 1859 y quedó maravillado por la altura y la belleza de las torres, por el cuidado que se habían tomado sus constructores en pintarlas y adornarlas con flores, y por su repentina muerte en todas partes.



El telégrafo de Montmartre.

Esas estaciones guardan ahora silencio. No se ve ni un solo movimiento de los señalizadores. Siguen estando en posiciones eminentes, y van cayendo rápidamente en las manos destructoras del tiempo. El cable eléctrico, aunque menos grandioso en apariencia, atraviesa el imperio y con llamas ardientes escribe en la distancia la voluntad del emperador a sesenta y seis millones de seres humanos diseminados por sus extensos dominios.^[5.22]

A juicio de Shaffner era aquella una conversación en una sola dirección. Los sesenta y seis millones de personas no respondían al emperador, ni a ningún otro.

¿Qué había que decir, cuando se escribía en el aire? He aquí lo que proponía Claude Chappe: «Todo lo que pueda ser objeto de una correspondencia».^[5.23] Pero el ejemplo que ponía —«Lukner ha salido hacia Mons para poner sitio a la ciudad, Bender avanza para defenderla»— dejaba bien claro lo que quería decir: despachos de contenido militar y político. Más tarde Chappe propondría enviar otros tipos de información: comunicados navales, y noticias financieras de la bolsa. Napoleón no lo permitiría, aunque en 1811 utilizara el telégrafo para anunciar el nacimiento de su hijo, Napoleón II. Difícilmente habría podido utilizarse para enviar mensajes privados una infraestructura de comunicaciones

construida con una inversión enorme del gobierno y capaz de transmitir en total unos centenares de palabras al día. Era algo inimaginable y cuando, un siglo más tarde, fue imaginable, algunos gobiernos lo encontraron indeseable. En cuanto los empresarios empezaron a organizar la telegrafía privada, Francia la prohibió por completo: una ley de 1837 preveía penas de cárcel y multas para «todo aquel que realice transmisiones no autorizadas de señales de un lugar a otro, con la ayuda de máquinas telegráficas o por cualquier otro medio».^[5.24] La idea de un sistema nervioso global tendría que surgir en otra parte. Al año siguiente, 1838, las autoridades francesas recibieron la visita de un americano, Samuel F. B. Morse, que traía una propuesta de construir un «telégrafo» utilizando cables eléctricos. Lo rechazaron de plano. Comparada con el majestuoso semáforo, la electricidad parecía vulgar e insegura. Nadie podía interferir las señales telegráficas en el cielo, pero los cables podían ser cortados por saboteadores. Jules Guyot, un médico y científico al que se encargó evaluar la nueva tecnología, comentó en tono despectivo: «¿Qué puede uno esperar de unos cuantos cables retorcidos?».^[5.25] En efecto, ¿qué?

El mantenimiento del delicado impulso galvánico planteaba una serie de difíciles retos técnicos, y surgieron unos pocos más cuando la electricidad se enfrentó al lenguaje: cuando las palabras tuvieron que transformarse en una pulsación del cable. La frontera entre electricidad y lenguaje —y también la interfaz entre el aparato y el ser humano— requería nuevas dosis de ingenio. A los inventores se les ocurrieron muchos proyectos distintos. Prácticamente todos se basaban de un modo u otro en el alfabeto escrito, utilizando las letras como sustrato intermedio. Parecía algo tan natural que nadie creía que fuera necesario ni comentarlo. Al fin y al cabo *telégrafo* significaba «escritura en la distancia». Así, en 1774 Georges-Louis Le Sage, de Ginebra, utilizó veinticuatro cables distintos para representar las veinticuatro letras del alfabeto, y cada cable transmitía solo la corriente suficiente para mover una lámina de oro suspendida en una vasija de vidrio «u otros cuerpos que puedan ser atraídos fácilmente y, al mismo tiempo, sean fácilmente visibles».^[5.26] Eran demasiados cables para que la cosa resultara practicable. En 1787 un francés llamado Lomond tendió un solo cable por todo su piso y dijo que era capaz de marcar distintas letras haciendo

que una bolita de celulosa fuera saltando en distintas direcciones. «Parece que ha creado un alfabeto de movimientos», informaba un testigo, pero, en apariencia, solo la esposa de Lomond era capaz de entender el código. En 1809 un alemán, Samuel Thomas von Sömmerring, construyó un telégrafo de burbujas. Al pasar la corriente por unos cables dentro de un recipiente lleno de agua producía burbujas de hidrógeno: cada cable, y por lo tanto cada chorro de burbujas, indicaba una sola letra. Cuando estaba trabajando en esto, Von Sömmerring logró que la electricidad tocara una campana: mantuvo una cuchara en equilibrio dentro del agua, boca abajo, para que cuando hubiera bastantes burbujas oscilara, liberara un peso, accionara una palanca, y tocara una campana. «Este objeto secundario, la alarma», escribía en su diario, «me ha costado no poca reflexión y muchos ensayos inútiles con mecanismos de engranaje».^[5.27] Al otro lado del Atlántico, un americano llamado Harrison Gray Dyer intentó enviar señales haciendo que unas chispas eléctricas formaran ácido nítrico que decoloraba el papel de tornasol.^[5.28] Colgó un cable de una serie de árboles y postes alrededor de una pista de carreras de Long Island. El papel de tornasol debía ser movido a mano.

Luego vinieron las agujas. El físico André-Marie Ampère, que contribuyó a desarrollar el galvanómetro, propuso usarlo como aparato de señales: era una aguja movida por electromagnetismo, una brújula que indicaba un norte artificial momentáneo. También Ampère pensó en una aguja para cada letra. En Rusia, el barón Pavel Schilling hizo la demostración de un sistema de cinco agujas que luego redujo a una: asignaba combinaciones de señales de derecha a izquierda a las letras y a los números. En 1833 en Göttingen el matemático Carl Friedrich Gauss, en colaboración con el físico Wilhelm Weber, organizó un sistema similar con una sola aguja. La primera oscilación de la aguja proporcionaba dos señales posibles, derecha o izquierda. Dos desviaciones combinadas daban cuatro posibilidades más (derecha + derecha, derecha + izquierda, izquierda + derecha, izquierda + izquierda). Tres oscilaciones daban ocho combinaciones, y cuatro daban dieciséis, lo que suponía un total de treinta señales distintas. El operador debía utilizar las pausas para separar las señales. Gauss y Weber organizaron su alfabeto de oscilaciones de manera lógica, empezando por las vocales y manteniendo las letras y los números en orden:

derecha = a
izquierda = e
derecha, derecha = i
derecha, izquierda = o
izquierda, derecha = u
izquierda, izquierda = b
derecha, derecha, derecha, = c (y k)
derecha, derecha, izquierda = d
etc., etc.

Este sistema de codificación de las letras era binario a su modo. Cada unidad mínima, cada mínima señal, equivalía a una opción entre dos posibilidades, izquierda o derecha. Cada letra requería una cantidad de opciones de ese estilo, y esa cantidad no estaba determinada de antemano. Podía ser una, como escoger la derecha para la a y la izquierda para la e . Podían ser más, de modo que el sistema era infinito, permitiendo un alfabeto de tantas letras como fueran necesarias. Gauss y Weber tendieron un cable doble a lo largo de casi dos kilómetros de casas y torres entre el observatorio de Göttingen y la facultad de física. No se ha conservado ni rastro de lo que llegaron a decirse por ese conducto.

Lejos de los laboratorios de esos inventores, el *telégrafo* seguía significando torres, semáforos, pantallas y banderas, pero desde luego el entusiasmo por sus nuevas posibilidades empezaba a ser cada vez mayor. En una conferencia pronunciada ante la Marine Society de Boston en 1833, el abogado y filólogo John Pickering afirmó: «Debe resultar evidente hasta para el observador más vulgar que no podrá inventarse nunca un medio de transmitir información que supere o incluso iguale la rapidez del telégrafo, pues, con la excepción de su parada apenas perceptible en cada estación, su rapidez podría compararse a la de la propia luz».^[5.29] Pensaba particularmente en el Telégrafo o Muelle Central, una torre parecida a las de Chappe que comunicaba noticias de los pescadores junto con otras tres estaciones levantadas a lo largo de una línea de veinte kilómetros en el puerto de Boston. Mientras tanto, decenas de nuevos periódicos de toda la nación se bautizaban con el modernísimo nombre de *The Telegraph*. Ellos también estaban en el negocio de la escritura a distancia.

«La telegrafía es un elemento de poder y de orden», había dicho Abraham

Chappe, pero las clases financieras y mercantiles en ascenso fueron las primeras en darse cuenta del valor de que la información pudiera salvar grandes distancias.^[5.30] Solo quinientos kilómetros separaban la Bolsa de Londres en Threadneedle Street de la de París, en el Palais Brongniart, pero quinientos kilómetros significaban días de camino. Podían hacerse auténticas fortunas si se salvaba ese abismo. Para los especuladores un telégrafo privado habría sido tan útil como una máquina del tiempo. Los Rotschild, la famosa familia de banqueros, utilizaban palomas mensajeras para mandarse correos y disponían también de un medio más fiable, una pequeña flota de barcos encargados de llevar mensajes de un lado a otro del Canal de la Mancha. El fenómeno de la información rápida a distancia, una vez descubierto, generó una cascada de excitación. Pickering en Boston echaba las cuentas: «Si ahora supone unas ventajas trascendentales para los negocios el hecho de obtener información de Nueva York en dos días o menos, o sea a una media de doce o quince kilómetros por hora, podemos darnos cuenta del beneficio proporcional que se conseguirá cuando podamos transmitir la misma información a esa distancia por medio del telégrafo a una media de seis kilómetros por minuto, o en el lapso de una sola hora, de Nueva York a Boston».^[5.31] El interés de los gobiernos en recibir boletines militares y en proyectar su autoridad se vio superado por los deseos de los capitalistas y la prensa, los ferrocarriles y las compañías navieras. No obstante, a pesar de su creciente expansión, en los Estados Unidos ni siquiera la presión del comercio bastó para hacer realidad la telegrafía óptica. Solo un prototipo consiguió poner en comunicación dos ciudades: Nueva York y Filadelfia en 1840. Empezó transmitiendo el precio de las acciones, luego números de la lotería y después... quedó obsoleto.

Todos los inventores en ciernes del telégrafo eléctrico —y fueron muchos— trabajaron a partir del mismo juego de herramientas. Tenían todos sus cables y sus agujas imantadas. Tenían también baterías: pilas galvánicas unidas que producían electricidad a partir de la reacción de tiras de metal inmersas en ácido. No tenían luces. No tenían motores. Tenían solo los mecanismos que fueran capaces de construir con madera y latón: alambres, tornillos, ruedas, muelles y palancas. En último término tenían el objetivo común que todos perseguían: las

letras del alfabeto. (Edward Davy pensaba en 1836 que era preciso explicar cómo y por qué las letras iban a ser suficientes: «Una sola letra puede ser indicada cada vez; cada letra es bajada por el empleado en cuanto llega para formar con ella palabras y frases; pero resultará muy fácil comprender que a partir de los infinitos cambios a los que puede someterse un determinado número de letras puede transmitirse un gran número de comunicaciones corrientes».)

[5.32] Junto con esta lista de medios, en Viena, París, Londres, Göttingen, San Petersburgo y los Estados Unidos, aquellos pioneros tenían una misma idea del paisaje de nerviosismo y competitividad que compartían, aunque ninguno sabía con claridad lo que estaban haciendo los otros. No podían seguir el ritmo de su correspondiente ciencia; algunos avances trascendentales en el campo de la electricidad siguieron sin ser conocidos por los hombres que más los habrían necesitado. Cada inventor se esforzaba por comprender qué era lo que ocurría con una corriente que pasaba por cables de distinta longitud y grosor, y siguieron luchando durante más de una década después de que Georg Ohm, en Alemania, elaborara una teoría matemática exacta de la corriente, el voltaje y la resistencia. Ese tipo de noticias viajaba muy despacio.

Fue en este contexto en el que Samuel Morse y Alfred Vail en los Estados Unidos y William Cooke y Charles Wheatstone en Inglaterra hicieron del telégrafo eléctrico una realidad y un negocio. De una manera u otra, todos ellos reivindicarían después haber «inventado» el telégrafo, aunque ninguno de ellos lo hiciera (desde luego Morse no). Su asociación estaba destinada a acabar en brutales, turbulentas y amargas disputas por la patente en las que se vieron envueltos la mayoría de los grandes estudiosos de la electricidad de uno y otro continente. La senda que había seguido el invento había pasado por muchos países, pero pocos se habían ocupado de dejar constancia de ella y menos aún de darla a conocer.

En Inglaterra, Cooke era un joven empresario —durante un viaje a Heidelberg había visto un prototipo de telégrafo de agujas— y Wheatstone un físico del King's College de Londres con el que Cooke formó una sociedad en 1837. Wheatstone había realizado experimentos sobre la velocidad del sonido y la electricidad, y una vez más el problema estuvo en conectar la física con el lenguaje. Consultaron a la máxima autoridad de Inglaterra en materia de electricidad, Michael Faraday, y a Peter Roget, autor de un *Tratado sobre*

electromagnetismo así como del sistema de clasificación verbal que llamó el *Thesaurus*. El telégrafo Cooke-Wheatstone pasó por una serie de distintos prototipos. Uno usaba seis cables para formar tres circuitos, cada uno de los cuales controlaba una aguja imantada. «Estudié todas las permutaciones posibles y todas las combinaciones prácticas de las señales dadas por las tres agujas, y obtuve así un alfabeto de veintiséis señales», decía Cooke en sus notas de forma un tanto oscura.^[5.33] Había además una alarma en caso de que el operador se distrajera y no prestara atención al aparato; Cooke afirmaba que se había inspirado en el único aparato mecánico que conocía: una tabaquera-cajita de música. En la siguiente versión, un par de esferas que giraban de forma sincronizada mostraban las letras del alfabeto a través de una ranura. Más ingenioso todavía e igualmente complicado era el diseño de cinco agujas: se colocaban veinte letras en una parrilla en forma de rombo y un operador, apretando unos botones numerados, hacía que dos de las cinco agujas señalaran únicamente a la letra deseada. Este telégrafo Cooke-Wheatstone funcionaba sin C, J, Q, U, X y Z. Su rival americano, Vail, describiría más tarde la operación en los siguientes términos:

Supongamos que el mensaje que se debe enviar desde la estación de Paddington a la de Slough es este: «Nos hemos enfrentado al enemigo y ya son nuestros». El operador de Paddington apretaba los botones 11 y 18 para marcar en el cuadrante de la estación de Slough la letra «N». El operador de esta estación, que se supone que está atento en todo momento, observa las dos agujas que señalan la «N». La anota, o se la dice en voz alta a otro que la copia, tardándose, según el cálculo que da cierto cómputo recientemente efectuado, dos segundos por lo menos para cada señal.^[5.34]

Vail consideraba este sistema poco eficaz. La posición en la que se encontraba le permitía mostrarse displicente.

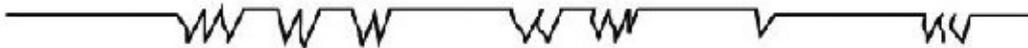
En cuanto a Samuel Finley Breese Morse, sus recuerdos de época posterior se inscriben en el contexto de la controversia, lo que su hijo llamaba «las batallas mundanas que se libraron en el mundo científico por las cuestiones de prioridad, descubrimiento o invención exclusiva, deudas contraídas con otros, y plagio consciente o inconsciente».^[5.35] Toda esa controversia se vio favorecida por los fallos de comunicación y por el hecho que nadie llevara un diario de actividades.

Educado en Yale College, hijo de un predicador de Massachusetts, Morse era un pintor, no un científico. En las décadas de 1820 y 1830 pasó casi todo el tiempo viajando por Inglaterra, Francia, Suiza e Italia para estudiar pintura. Fue en el curso de uno de esos viajes cuando oyó hablar por primera vez de la telegrafía eléctrica o, según dice en sus memorias, tuvo una intuición repentina: «Como un destello en el sutil fluido que luego se convertiría en su servidor», según diría luego su hijo. Morse comentó a un amigo que compartía habitación con él en París: «El correo en nuestro país es demasiado lento; este telégrafo francés es mejor, y lo sería todavía más en una atmósfera clara como la nuestra que aquí, donde la mitad del tiempo la niebla oscurece el cielo. Pero esto no será lo bastante rápido, el relámpago nos resultaría más útil».^[5.36] Tal como describía su epifanía, la suya no fue una intuición sobre relámpagos, sino sobre signos: «No sería difícil idear un *sistema de signos* mediante el cual la inteligencia pudiera ser transmitida al instante».^[5.37]

Morse tuvo una gran intuición a partir de la cual todo el resto fluyó con facilidad. Como no sabía nada acerca de bolas de celulosa ni papel tornasolado, vio que un signo podía hacerse con algo más simple, más básico y menos tangible: un gesto mínimo como la abertura y el cierre de un circuito. No había ni que pensar en agujas. El flujo de la corriente eléctrica era interrumpido y esas interrupciones podían organizarse de forma que crearan un significado. La idea era sencilla, pero los primeros aparatos de Morse eran enrevesados, y en ellos había engranajes mecánicos, péndulos de madera, lápices, tiras de papel, rodillos y manivelas. Vail, que era un mecánico experto, cortó con todo aquello. Para la estación emisora, ideó lo que se convertiría en un ejemplo icónico de interfaz de usuario: una simple palanca provista de un muelle, con la que un operador podía controlar el circuito accionándola con un dedo. Primero llamó a esta palanca el «corresponsal»; y luego simplemente la «tecla». Su sencillez hacía de ella un orden de magnitud más rápido que los botones y las manivelas empleadas por Wheatstone y Cooke. Con el telégrafo de tecla, un operador podía enviar señales —que, al fin y al cabo, no eran más que meras interrupciones de la corriente— a una velocidad de centenares por minuto.

Así pues, por un lado había una palanca para abrir y cerrar el circuito, y en el otro extremo la corriente controlada y el electroimán. A uno de ellos, probablemente a Vail, se le ocurrió juntar los dos elementos. El imán podía

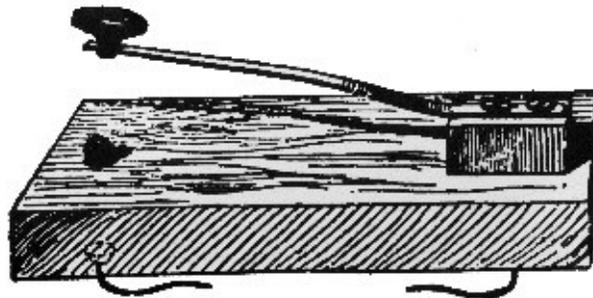
accionar la palanca. Esta combinación (inventada de forma más o menos simultánea por Joseph Henry en Princeton y por Edward Davy en Inglaterra) recibió el nombre de «relé», de la palabra inglesa (*relay*) que designa al caballo de relevo que sustituía en la posta al que llegaba cansado. Eliminaba el mayor obstáculo que había encontrado en su camino la telegrafía eléctrica de larga distancia: el debilitamiento de la corriente a medida que pasaba por largas extensiones de cable. Una corriente débil podía seguir operando un relé, posibilitando un nuevo circuito alimentado por una batería nueva. El relé tenía un potencial mayor de lo que sus inventores preveían. Aparte de permitir que la señal se propagara, podía también invertir la señal. Y además los relés podían combinar señales procedentes de más de una fuente. Pero eso sería más tarde.



Escritura telegráfica del primer sistema Morse.

El punto de inflexión se produjo en 1844, tanto en Inglaterra como en los Estados Unidos. Cooke y Wheatstone tenían ya su primera línea instalada y funcionando a lo largo de la vía férrea que arrancaba de la estación de Paddington. Morse y Vail tenían las suyas, que iban de Washington a la estación del tren de Pratt Street en Baltimore, a través de cables envueltos en hilo y brea, suspendidos de postes de madera de seis metros de altura. El tráfico de comunicaciones fue escaso al principio, pero Morse tuvo enseguida el orgullo de comunicar al Congreso que un aparato podía transmitir treinta caracteres por minuto y que las líneas habían «permanecido tranquilas, sin sufrir las consecuencias de la violencia gratuita ni la mala disposición de nadie». Desde el primer momento, el contenido de las comunicaciones fue —curiosamente— muy distinto del de los despachos militares o gubernamentales habituales entre los telegrafistas franceses. En Inglaterra los primeros mensajes anotados en el registro telegráfico de Paddington tienen que ver con maletas perdidas y transacciones comerciales al por menor. «Envía un mensaje a Mr. Harris, Duke-Street, Manchester-Square, y pídele que mande seis libras de chanquetes y cuatro libras de salchichas con el tren de las 5:30 a Mr. Finch de Windsor; hay que mandarlo con el tren de las 5:30 o no mandarlo.»^[5.38] En cuanto dieron las

doce y empezó el año nuevo, el superintendente de Paddington envió un saludo a su compañero de Slough y recibió como contestación que su felicitación había llegado con medio minuto de antelación; allí todavía no era media noche.^[5.39] Esa misma mañana un farmacéutico de Slough llamado John Tawell envenenó a su amante, Sarah Hart, y salió corriendo a coger el tren de Paddington. Antes de que llegara a su destino lo hizo un mensaje telegráfico con la siguiente descripción: «Vestido de cuáquero con una gran levita marrón» (en el sistema inglés no existía por entonces la Q, y la palabra que ahora se escribe *Quaker* se escribía entonces *Kwaker*);^[5.40] el hombre fue capturado en Londres y ahorcado en el mes de marzo. El drama dio pasto a los periódicos durante meses. Luego se diría de los cables del telégrafo: «Ellos fueron las cuerdas de las que se ahorcó a John Tawell». En el mes de abril, un tal capitán Kennedy, desde la estación término de los Ferrocarriles del Sudoeste, jugó una partida de ajedrez con un tal Mr. Staunton, en Gosport; se dijo que «para comunicar las jugadas de uno y de otro, la electricidad estuvo viajando de acá para allá durante la partida más de quince mil kilómetros».^[5.41] A los periódicos les encantó la anécdota; y cada vez más y más valorarían cualquier anécdota que pusiera de manifiesto las maravillas del telégrafo eléctrico.



Tecla del telégrafo de Alfred Vail.

Cuando la empresa británica y la americana abrieron sus puertas al público en general, no estaba claro ni mucho menos quién, aparte de la policía y ocasionalmente algún jugador de ajedrez, habría estado dispuesto a pagar la tarifa exigida por su uso. En Washington, donde el importe empezó siendo en 1845 de un cuarto de centavo por carta, los ingresos totales correspondientes a los tres primeros meses serían menos de doscientos dólares. Al año siguiente, cuando se abrió una línea Morse entre Nueva York y Filadelfia, el tráfico se

aceleró un poco. «Si tiene usted en cuenta que el negocio es bastante flojo [y] que todavía no tenemos la confianza del público», escribía un empleado de la compañía, «comprenderá que estemos todos satisfechos con los resultados obtenidos hasta el momento».^[5.42] Pronosticaba que los beneficios no tardarían en ascender a los cincuenta dólares al día. Los reporteros de la prensa picaron enseguida. En otoño de 1846 Alexander Jones envió su primer artículo por cable desde Nueva York hasta la Washington Union: un relato de la botadura del buque de la marina estadounidense *Albany* en el Brooklyn Navy Yard.^[5.43] En Inglaterra un colaborador de *The Morning Chronicle* describía la emoción de la llegada del primer informe a través de la línea telegráfica Cooke-Wheatstone en los siguientes términos:

El primer envío de una noticia a través de una repentina sacudida de la aguja inmóvil y el agudo aviso de la alarma. Miramos la cara deliciosamente taciturna de nuestro amigo, dirigimos la vista a la esfera mística, y copiamos con rapidez en nuestra libreta de notas cuáles eran sus palabras a unos ciento cincuenta kilómetros de distancia.^[5.44]

Fue contagioso. Algunos temían que el telégrafo supusiera la muerte de los periódicos, convirtiéndose en adelante en «el rápido e indispensable portador de las informaciones comerciales, políticas y de otro tipo», como decía un periodista americano.

Para ese cometido los periódicos resultarán a todas luces inútiles. Adelantados en todo momento por las alas fulgurantes del telégrafo, solo podrán tratar «asuntos» locales o especulaciones abstractas. Su capacidad de crear sensaciones, incluso en las campañas electorales, se verá en gran medida reducida, pues el infalible telégrafo desmentirá sus falsedades con tanta rapidez como se publiquen.^[5.45]

Los periódicos no se dejaron amilanar y no tardaron en poner la nueva tecnología a su servicio. Los editores pensaron que cualquier despacho parecía más urgente y apasionante con la etiqueta: «Comunicado por el telégrafo eléctrico». A pesar de lo caro que resultaba —al principio el precio habitual eran cincuenta centavos por cada diez palabras—, los periódicos se convirtieron en los patronos más entusiastas de los servicios telegráficos. Al cabo de unos años,

ciento veinte periódicos de provincias recibían cada noche informes del parlamento inglés. Los boletines de noticias acerca de la Guerra de Crimea eran transmitidos desde Londres hasta Liverpool, York, Manchester, Leeds, Bristol, Birmingham y Hull. «Más deprisa de lo que un cohete pudiera recorrer volando esa distancia, la noticia estalla lo mismo que un cohete y es llevada por los distintos cables a una decena de ciudades vecinas», señalaba un periodista.^[5.46] No obstante, veía los peligros que conllevaba: «La información, reunida y transmitida con tanta precipitación, tiene también sus inconvenientes, y no es tan fiable como la noticia que empieza más tarde y viaja más despacio». La relación entre el telégrafo y la prensa escrita era simbiótica. Lazos de realimentación positiva amplificaban sus efectos. Como el telégrafo era una tecnología de la información, servía como agente de su propia influencia.

La expansión global del telégrafo continuó sorprendiendo incluso a sus promotores. Cuando abrió la primera oficina del telégrafo en Nueva York, en Wall Street, el principal problema que encontró fue el río Hudson. El sistema Morse tuvo que tender una línea de casi cien kilómetros remontando la margen derecha del río hasta llegar a un punto lo bastante estrecho como para que los cables pudieran cruzarlo. Al cabo de pocos años, sin embargo, se consiguió tender un cable debidamente aislado por debajo del agua. En 1851 se estableció la conexión entre Dover y Calais mediante un cable submarino de unos cuarenta kilómetros de longitud que atravesaba el Canal de la Mancha. Poco después, una autoridad bien informada advertía: «Cualquier idea de conectar Europa con América por medio de líneas extendidas directamente a través del Atlántico es de todo punto impracticable y absurda».^[5.47] Era 1852; lo imposible se había hecho realidad en 1858, cuando la reina Victoria y el presidente Buchanan pudieron hacer unas cuantas bromas por este conducto y *The New York Times* anunció «un resultado tan práctico, y al mismo tiempo tan inconcebible [...] tan lleno de esperanzados pronósticos para el futuro de la humanidad [...] uno de los grandes hitos de la dura marcha hacia delante del intelecto humano».^[5.48] ¿Qué era lo esencial de aquel logro? «La transmisión del pensamiento, el impulso vital de la materia». El entusiasmo era universal, pero los efectos eran locales. Los parques de bomberos y las comisarías de policía entablaron comunicaciones. Y los comerciantes orgullosos de su negocio hacían publicidad de él anunciando que se podían hacer pedidos por telégrafo.

Informaciones que apenas dos años antes habían tardado días en llegar a su destino podían llegar a ese mismo lugar —o a cualquier otro— en apenas segundos. No era que la velocidad de transmisión se hubiera duplicado o triplicado; era un salto de muchos órdenes de magnitud. Era como la rotura de una presa cuya presencia ni siquiera se hubiera conocido. Las consecuencias sociales se habían podido prever, pero algunas fueron observadas y apreciadas casi de inmediato. El concepto que tenía la gente del clima empezó a cambiar: esto es, del clima como generalización, como abstracción. Sencillos informes meteorológicos empezaron a pasar por los cables en nombre de los especuladores del comercio de grano: *Derby, muy gris; York, bueno; Leeds, bueno; Nottingham, sin lluvia, pero gris y frío.*^[5.49] La propia idea de «informe meteorológico» constituía una novedad. Requería algo así como un conocimiento instantáneo de un lugar distante. «Los fenómenos de la atmósfera, los misterios de los meteoros, la causa y el efecto de las combinaciones celestiales, ya no son materia de superstición ni de pánico para el agricultor, el marino o el pastor», señalaba entusiasmado un comentarista en 1848:

El telégrafo viene a decirle, para sus usos y observaciones cotidianas, no solo que «el buen tiempo viene del norte», sino que el cable eléctrico puede anunciarle en un momento el carácter del tiempo simultáneamente en todos los rincones de nuestra isla [...] De esta manera, el telégrafo puede convertirse en un enorme barómetro nacional, y la electricidad en la criada del mercurio.^[5.50]

Era una idea transformadora. En 1854 el gobierno estableció una Oficina Meteorológica dentro del Board of Trade. El jefe de este departamento, el almirante Robert FitzRoy, antiguo capitán de la nave *Beagle*, se trasladó a un despacho en King Street, equipado con barómetros, aneroides, y vasos de previsión de temporales, y envió observadores provistos de esos mismos instrumentos a todos los puertos de la costa. Enviaban dos veces al día a través del telégrafo informes sobre el estado de las nubes y el viento. FitzRoy comenzó a emitir pronósticos del tiempo, que él bautizó «predicciones», y en 1860 *The Times* se encargaría por primera vez de publicarlos diariamente. Los meteorólogos empezaron a darse cuenta de que todos los grandes vientos, vistos a gran escala, eran circulares, o al menos «sumamente curvos».

Los conceptos más fundamentales estaban ya en juego como consecuencia

de la comunicación instantánea entre puntos muy distantes. Los observadores culturales empezaron a decir que el telégrafo «aniquilaba» el tiempo y el espacio. «Nos permite enviar comunicaciones por medio de fluidos misteriosos con la rapidez del pensamiento, y aniquilar el tiempo así como el espacio», declaraba un empleado de telégrafos norteamericano en 1860.^[5.51] Se trataba de una exageración que no tardaría en convertirse en un cliché. El telégrafo parecía deteriorar o acortar el tiempo en un sentido muy concreto: el tiempo era un obstáculo o un estorbo para el trato entre los hombres. «A efectos prácticos», proclamaba un periódico, «el tiempo en su tránsito puede considerarse eliminado por completo».^[5.52] Y lo mismo ocurría con el espacio. «La distancia y el tiempo han cambiado tanto en nuestra imaginación», decía Josiah Latimer Clark, ingeniero de telégrafos inglés, «que el globo ha quedado prácticamente reducido en sus dimensiones y no cabe duda de que nuestra concepción de su magnitud es completamente distinta de la que tenían nuestros antepasados».^[5.53]

Antiguamente todo el tiempo era local: cuando el sol estaba en lo más alto, era mediodía. Solo un visionario (o un astrónomo) podía saber que los habitantes de un lugar distinto vivían con otro horario. Ahora el horario podía ser local o estándar, y esta distinción desconcertaba a la mayoría de la gente. Los ferrocarriles requerían un horario estándar, y el telégrafo lo hacía posible. El horario estándar tardó décadas en imponerse; el proceso no podría empezar hasta la década de 1840, cuando el Astrónomo Real puso unos cables que iban desde el Observatorio de Greenwich hasta la Compañía del Telégrafo Eléctrico de Lothbury, con la intención de sincronizar los relojes de todo el país. Anteriormente, la tecnología más avanzada para la señalización del tiempo consistía en el lanzamiento de una pelota desde lo alto de un palo colocado en la cúpula del observatorio. La clave para medir la longitud era conocer la hora en cualquier otro lugar y la distancia a ese lugar. Por eso los barcos llevaban relojes, conservando así el tiempo en cápsulas mecánicas imperfectas. El teniente Charles Wilkes de la Expedición Exploratoria de los Estados Unidos utilizó en 1844 la primera línea Morse para situar el Battle Monument de Baltimore a 1 minuto y 34.868 segundos longitud este del Capitolio de Washington.^[5.54]

Lejos de aniquilar el tiempo, la sincronía ampliaba su dominio. La propia idea de sincronía y la conciencia de que se trataba de una idea nueva, hacía que a muchos les diera vueltas la cabeza. *The New York Herald* afirmaba:

El telégrafo del profesor Morse no solo marca una era en la transmisión de informaciones, sino que ha originado en la mente toda una nueva clase de ideas, una nueva especie de conciencia. Nunca nadie con anterioridad había sido consciente de que sabía con certeza qué cosas estaban ocurriendo en ese momento en una ciudad situada pongamos por caso a cien, doscientos u ochocientos kilómetros de distancia.^[5.55]

Imaginemos —continuaba diciendo este articulista haciendo gala de un humor excelente— que *en este momento* son las once en punto. El telégrafo transmite lo que está diciendo *en este momento* un legislador en Washington.

Requiere no poco esfuerzo intelectual darse cuenta de que es una realidad que es *en este momento*, y no una que ya ha sido.

Esta es una realidad que es *en este momento*.

También cambió la historia (y la forma de hacer historia). El telégrafo permitió la conservación de grandes cantidades de detalles menores acerca de la vida cotidiana. Durante un tiempo, hasta que se hizo impracticable, las compañías de telégrafos intentaron llevar un registro de todos los mensajes que mandaban. Supuso una acumulación de información sin precedentes. «Figurémonos a un futuro Macaulay escudriñando en un almacén semejante y reproduciendo a partir de ahí los rasgos más sobresalientes de la vida social y comercial de la Inglaterra del siglo XIX», decía un ensayista. «¡Lo que podría llegar a sacarse un día en el siglo XXI del archivo de la correspondencia de todo un pueblo!»^[5.56] En 1845, tras un año de experiencia con la línea entre Washington y Baltimore, Alfred Vail intentó confeccionar un catálogo de todas las cosas que el telégrafo había transmitido hasta ese momento. «Mucha información importante», decía,

consistente en mensajes de unos comerciantes a otros, de miembros del Congreso, funcionarios del gobierno, bancos, agentes de bolsa, y agentes de policía; interlocutores que, de mutuo acuerdo, se han encontrado a uno y otro extremo de la línea, o que han sido avisados por el otro; noticias, resultados electorales, notificaciones de fallecimientos, preguntas acerca de la salud de familias e individuos, las actas diarias del Senado y de la Cámara de Representantes, pedidos de mercancías, preguntas acerca de la navegación de un barco, actas de los juicios de los diversos tribunales, llamamientos a testigos, mensajes relacionados con

trenes especiales y expresos, invitaciones, cobros de dinero en una oficina y su pago en otra, con destino a personas que solicitan el traslado de fondos de un deudor, consultas de médicos...^[5.57]

Todos estos casos no se habían juntado nunca bajo un solo epígrafe. El telégrafo les dio algo en común. También a la hora de solicitar la patente y en los pactos legales alcanzados, los inventores tenían buenos motivos para pensar en su invento en los términos más generales posibles: por ejemplo, el envío, impresión, estampación o cualquier otro tipo de transmisión de señales, o el toque de alarmas, o la comunicación de informaciones.^[5.58]

En aquella época de cambio conceptual, eran necesarios reajustes mentales para entender lo que era propiamente el telégrafo. La confusión inspiraba anécdotas que a menudo desencadenaban nuevos significados insólitos de términos perfectamente conocidos: palabras inocentes como *enviar*, y otras ya muy cargadas, como *mensaje*. Estaba la mujer que llevó un plato de sauerkraut a la oficina de teléfono de Karlsruhe para que se lo «enviaran» a su hijo a Rastatt. Había oído decir que los soldados eran «enviados» al frente a través del telégrafo. Estaba el hombre que llevó un «mensaje» a la oficina de telégrafos de Bangor, Maine. El operador manipuló la tecla del telégrafo y luego colgó el papel de un gancho. El cliente se quejó entonces de que el mensaje no había sido enviado, porque, como todos podían ver, ahí estaba colgado de un gancho. Para el *Harper's New Monthly Magazine*, que contó la anécdota en 1873, el chiste estaba en que incluso las personas «inteligentes y bien informadas» seguían encontrando aquellas cosas inexplicables:

La dificultad de formarse un concepto claro del tema se ve incrementada por el hecho de que mientras que por un lado tenemos que hacer frente a realidades nuevas y extrañas, tenemos también que utilizar palabras antiguas en sentidos nuevos e incoherentes.^[5.59]

Siempre se había creído que un mensaje era un objeto físico. Siempre había sido una ilusión; ahora la gente necesitaba disociar conscientemente su concepto de mensaje del papel en el que iba escrito. Los científicos, explicaba el *Harper's*, dirán que la corriente eléctrica «lleva un mensaje», pero no hay que imaginar que se transporta nada, ninguna cosa. Es solo «la acción y la reacción de una

fuerza imponderable, y la producción por medio de ella de señales inteligibles a distancia». No es de extrañar que la gente se viera inducida a error. «El mundo tendrá que seguir empleando ese lenguaje quizá por mucho tiempo todavía».

También cambió el paisaje físico. Los cables tendidos por doquier creaban una ornamentación extraña, tanto en las calles de las ciudades como en los caminos de las zonas rurales. «Las compañías de telégrafos están metidas en una carrera para apoderarse del aire que flota sobre nuestras cabezas», escribía un periodista inglés, Andrew Wynter. «Miremos adonde miremos, no podremos dejar de ver gruesos cables colgados de hilos de tela de araña, o líneas paralelas de cables en cantidades inmensas yendo de poste a poste, clavados en los tejados de las casas o tendidos a grandes trechos.»^[5.60] Tardaron algún tiempo en confundirse con el fondo. La gente miraba los cables y pensaba en su tremendo cargamento invisible. «Son las cuerdas de algún instrumento sobre el cielo», decía Robert Frost, «en el que las palabras tañidas o pronunciadas / correrán tan quedas como cuando solo eran pensamiento».^[5.61]

Los cables no se parecían a ningún elemento de la arquitectura ni de la naturaleza. Cuando buscaban símiles los escritores pensaban en las arañas y sus telas. Pensaban en laberintos y enredos. Y había otra palabra que parecía apropiada: la tierra estaba siendo cubierta, decía la gente, por una *red* de acero. «Una red de nervios de cables de acero, tensados con relámpagos, irá ramificándose desde el cerebro, Nueva York, hasta los miembros y extremidades más distantes», decía el *New York Tribune*.^[5.62] «Toda la red de cables», aseguraba el *Harper's*, «toda vibrante de extremo a extremo con señales de la inteligencia humana».^[5.63]

Wynter hacía el siguiente pronóstico: «No está muy lejos el día», aseguraba, «en el que todo el mundo será capaz de hablar con todo el mundo sin salir de su casa». Quería decir «hablar» metafóricamente.^[5.64]

En más de un sentido usar el telégrafo significaba escribir en código.

El sistema Morse de puntos y rayas no se llamó código al principio. Fue llamado simplemente alfabeto: «El alfabeto telegráfico de Morse», como se decía habitualmente. Pero no era un alfabeto. No representaba sonidos mediante signos. El sistema Morse tomaba el alfabeto como punto de partida y lo

complementaba, por sustitución, reemplazando unos signos con otros nuevos. Era un meta-alfabeto, una vez eliminado el alfabeto. Este proceso —de trasposición de significado de un nivel simbólico a otro— ya había tenido lugar en el campo de las matemáticas. En cierto modo esa era la esencia misma de las matemáticas. Ahora se había convertido en un elemento familiar del equipo de herramientas del ser humano. Debido simplemente al telégrafo, a finales del siglo XIX la gente empezó a sentirse más cómoda, o al menos a estar más familiarizada, con la idea de los códigos: signos usados en vez de otros signos, palabras usadas en vez de otras palabras. El paso de un nivel simbólico a otro podría llamarse *codificación*.

Había dos motivaciones que se compaginaban perfectamente: el secreto y la brevedad. Los mensajes cortos ahorraban dinero: así de sencillo. Tan poderoso fue ese impulso que el estilo de la prosa inglesa pareció pronto notar sus efectos. El adjetivo *telegráfico* y la expresión *estilo telegráfico* se utilizaban para describir la nueva forma de escribir. Las flores de la retórica costaban demasiado y algunos lo lamentaban. «El estilo telegráfico elimina todas las formas de cortesía», escribía Andrew Wynter:

«Podría pedirle que me hiciera el favor» son 6 peniques para una distancia de ochenta kilómetros. ¿Cuántos de esos queridos adjetivos, pues, tendrá que borrar implacablemente nuestro amigo para rebajar su cuenta hasta un precio razonable?
[5.65]

Casi de inmediato, los periodistas empezaron a buscar métodos para transmitir más información con menos palabras costosas. «Al principio inventamos un sistema de taquigrafía o cifra», se jactaba uno, «de tal modo que el recibo del producto y las ventas y los precios de todos los principales artículos de panadería, abastecimientos, etc., pudieran ser enviados de Buffalo a Albany a diario, en veinte palabras para las dos ciudades, detalles que cuando eran copiados en su integridad, podían dar cien palabras o más». [5.66] Las compañías de telégrafos intentaron cortarles el paso, alegando que los códigos privados estaban minando el sistema, pero los lenguajes cifrados siguieron floreciendo. Un sistema habitual consistía en asignar palabras del diccionario a frases enteras, organizándolas semántica y alfabéticamente. Por ejemplo, todas las palabras que empezaban por B se referían al mercado de la harina: *baal* = «Las transacciones

son de menor entidad que ayer»; *babble* = «Se están haciendo buenos negocios»; *baby* = «El Oeste se mantiene firme, con una demanda moderada del comercio interior y la exportación»; *button* = «El mercado está tranquilo y los precios son más asequibles». Naturalmente era necesario que el remitente y el destinatario trabajaran con las mismas listas de palabras. A los operadores del telégrafo, los mensajes codificados les parecían absurdos y solo eso ya constituía una ventaja extra.

En cuanto a la gente se le ocurrió enviar mensajes por telégrafo, surgió la preocupación de que así sus comunicaciones quedaban expuestas a la vista de cualquiera: al menos a la vista de los operadores de las oficinas del telégrafo, extraños en los que no cabía confiar y que no podían dejar de leer las palabras que hacían pasar por sus aparatos. Comparado con las cartas escritas a mano, metidas en sobre y selladas con lacre, todo aquello resultaba expuesto a la vista de cualquiera e inseguro: los mensajes tenían forzosamente que pasar por aquellos misteriosos conductos, los cables eléctricos. El propio Vail escribía en 1847: «La gran ventaja que posee este telégrafo a la hora de transmitir mensajes con la rapidez del rayo y de aniquilar el tiempo y el espacio, se vería quizá mermada en su utilidad si no pudiera valerse de la aplicación de un alfabeto secreto». «Hay», según decía, «sistemas»

gracias a los cuales un mensaje puede pasar de un corresponsal a otro por medio del telégrafo y el contenido de dicho mensaje puede seguir siendo un secreto insondable para todos los demás, excepto para los operadores de las estaciones telegráficas, por cuyas manos tiene que pasar obligatoriamente.^[5.67]

Todo aquello era muy complicado. El telégrafo servía no solo como aparato, sino también como *medium*, medio, estadio intermedio. El mensaje pasa a través de ese *medium*. Aparte del mensaje, hay que considerar también el contenido de dicho mensaje. Incluso cuando este no tiene más remedio que quedar expuesto a la vista de todos, su contenido puede ser oculto. Vail explicaba qué era lo que quería decir por *alfabeto secreto*: un alfabeto cuyos caracteres han sido «cambiados de lugar y permutados».

Así, la letra que representa *a* en el alfabeto *permanente* puede ser representada por *y* o por *c* o por *x* en el alfabeto *secreto*, y lo mismo vale para cada letra.

De ese modo *The firm of G. Barlow & Co. have failed* («La empresa de G. Barlow & Co. ha quebrado») se convierte en *Ejn stwz ys & qhwkyf p iy jhan shtknr*. Para situaciones menos comprometidas, Vail proponía usar formas abreviadas de frases comunes. En vez de «con mucho cariño para» proponía escribir «cmcp». Y hacía unas cuantas propuestas más:

medsm	Mi estado de salud mejora
lahb	Las acciones han bajado
tmhl	Tu mensaje ha llegado
cpeqlm	¿Cuándo puedo esperar que llegue la mercancía?
cuopde	¿Cambiaría usted oro por divisas extranjeras?

Todos estos sistemas requerían acuerdos previos entre remitente y destinatario: el mensaje debía ser complementado o alterado por unos conocimientos previos compartidos por uno y por otro. El mejor sitio para guardar esos conocimientos era un libro de códigos, y cuando abrió la primera línea Morse, uno de sus principales inversores y promotores, el congresista de Maine Francis O. J. Smith, llamado Fog, elaboró uno: *The Secret Corresponding Vocabulary; adapted for use to Morse's Electro-Magnetic Telegraph: and also in conducting written correspondence, transmitted by the mails, or otherwise* («Vocabulario de correspondencia secreta; adaptado para su uso en el telégrafo electromagnético de Morse; y también para la correspondencia manuscrita, enviada por correo o por otros medios»). No era más que una lista alfabética numerada de cincuenta y seis mil palabras inglesas, desde *Aaronic* hasta *zygodactylous*, más las correspondientes instrucciones.^[5.68] «Suponemos que la persona que escribe y la que recibe el mensaje están en posesión de una copia de la presente obra», señalaba Smith. «En vez de mandar sus comunicados en palabras, envían solo números, o una parte en números y otra en palabras». Para mayor seguridad, podían ponerse de acuerdo de antemano y añadir o quitar un número a su arbitrio, o diferentes números para distintas palabras. «Algunas de esas sustituciones convencionales», aseguraba, «hará de todo el lenguaje letra perfectamente muerta para toda persona ajena al sistema concertado».

Los criptógrafos tenían una historia misteriosa, sus secretos se transmitían en copias manuscritas clandestinas, como los de los alquimistas. Ahora la creación

de un código salía a la luz, expuesta entre los productos comerciales como motivo de inspiración para la imaginación popular. Durante las décadas sucesivas, fueron propuestos y publicados muchos otros sistemas. Iban desde folletos de un penique hasta volúmenes de centenares de páginas en letra pequeña. En Londres apareció un *Three Letter Code for Condensed Telegraphic and Inscrutably Secret Messages and Correspondence* de E. Erskine Scott. Su autor era un actuario y contable y, como tantos otros en el negocio de los códigos, era un hombre movido a todas luces por una obsesión por la recopilación de datos. El telégrafo vino a abrir un inmenso mundo de posibilidades para este tipo de individuos: catalogadores, taxonomistas, amantes de las palabras y cultivadores de la numerología, y coleccionistas de todas clases. Los diversos capítulos del libro de Scott incluían no solo un vocabulario de palabras corrientes y de combinaciones de dos términos, sino también nombres geográficos, nombres de persona, nombres de todas las empresas que cotizaban en la bolsa de Londres, todos los días del año, todos los regimientos del ejército inglés, registros navieros, y los nombres de todos los pares del reino. Organizar y numerar todos estos datos posibilitaba además una forma de comprensión. Abreviar los mensajes significaba ahorrar dinero. Los clientes pensaban que la mera sustitución de las palabras por números servía de muy poco en este sentido: costaba lo mismo mandar un mensaje con «3747» que con «pirita». Así, pues, los libros de códigos se convirtieron en diccionarios de frases. Su finalidad consistía más o menos en meter los mensajes en cápsulas, impenetrables a las miradas entrometidas y aptas para una transmisión eficaz. Y naturalmente, desde el punto de vista del destinatario, para sacarlos de ellas.

Un volumen que llegó a tener un éxito especial en las décadas de 1870 y 1880 fue *The A B C Universal Commercial Electric Telegraphic Code*, ideado por William Clauson-Thue.^[5.69] Según la publicidad que hacía el autor de su código, resultaba útil para «financieros, comerciantes, navieros, agentes de bolsa, etc.». Su máxima era: «Sencillez y economía palpable, secreto absoluto». Clauson-Thue, otro obseso de la información, intentaba meter toda la lengua —o al menos la lengua del comercio— en frases, y organizar esas frases por palabras claves. El resultado es una singular obra lexicográfica, una ventana abierta a la vida económica del país, y un tesoro de matices curiosos y lirismo involuntario. Para la palabra clave *pánico* (a la que se asignan los números 10054-10065), el

inventario incluye:

Un gran pánico domina en...
El pánico está calmándose
El pánico continúa
Lo peor del pánico ya ha pasado
El pánico puede considerarse que ha cesado

Para *lluvia* (11310-11330):

No puede funcionar debido a la lluvia
La lluvia ha hecho mucho bien
La lluvia ha causado gran cantidad de daños
La lluvia cae ahora en serio
Continúan todas las perspectivas de lluvia
Lluvia muy necesaria
Lluvia a veces
Lluvias generalizadas

Para *naufragio* / *naufragar* / *ruina* (15388-15403):

Levó anclas y naufragó
Se intentará por todos los medios evitar el naufragio
Va a ser necesariamente una ruina total
Las autoridades aduaneras han vendido el barco hundido
El cónsul ha empleado a todos los hombres para evitar el naufragio

Como el mundo estaba lleno no solo de palabras, sino de cosas, se propuso también asignar números a todos los nombres propios que pudiera: nombres de ferrocarriles, de bancos, de minas, de bienes de consumo, de barcos, de puertos, y de acciones (de Gran Bretaña, de las colonias y del extranjero).

Cuando las redes telegráficas se extendieron a uno y otro lado del océano y por todo el mundo, y las tarifas internacionales subieron a varios dólares por palabra, los libros de códigos conocieron un nuevo auge. La economía importaba más incluso que el secreto. La tarifa transatlántica original era aproximadamente cien dólares por mensaje —o «cable», como se denominaba por metonimia— de diez palabras. Por no mucho menos dinero podían llegar los mensajes de

Inglaterra a la India, a través de Turquía o Persia y Rusia. Para ahorrar en el precio, el cliente espabilado de clase media ideó un sistema llamado «comprimir». El que utilizaba esta estratagema reunía, por ejemplo, cuatro mensajes de cinco palabras cada uno y los juntaba en un telegrama de veinte palabras a precio fijo. Los libros de códigos aumentaron de tamaño y también se hicieron más pequeños. En 1885 W. H. Beer y Compañía, de Covent Garden, publicaron un célebre *Pocket Telegraphic Code*, al precio de un penique, que contenía «más de trescientos telegramas de una sola palabra», organizados con claridad por temas. Algunos temas esenciales eran las Apuestas («¿Hasta qué cantidad debo apostar por ti en esta carrera?»), Fabricantes de botas («Estas botas no me están bien. Envíe a recogerlas inmediatamente»), Lavanderas («Venga a buscar la colada hoy»), y el Tiempo en conexión con los Viajes («¿Hace demasiado mal tiempo para que pases hoy por aquí?»). Y se dejaba una página en blanco para el «Código Secreto. (Rellénese según lo que se acuerde con los amigos)». Había códigos especiales para los ferrocarriles, los yates, y los oficios, desde el de farmacéutico hasta el de fabricante de alfombras. Los libros de códigos más voluminosos y caros se copiaban unos a otros. «Ha llegado a conocimiento del autor que algunas personas han comprado una sola copia del *A B C Telegraphic Code* para servirse de él con el fin de compilar sus propios códigos», se lamentaba Clauson-Thue.^[5.70] «El autor recuerda que semejante acto constituye una infracción de la Ley de Copyright, y por lo tanto puede ser objeto de un desagradable proceso legal». No eran más que bravatas. A finales de siglo, los telegrafistas del mundo entero, por medio de las Conferencias Telegráficas Internacionales celebradas en Berna y en Londres, habían sistematizado los códigos con palabras en alemán, español, francés, holandés, inglés, italiano, latín, y portugués. Los libros de códigos prosperaron y conocieron una gran expansión durante las primeras décadas del siglo XX y luego se esfumaron en la oscuridad.

Los que utilizaban códigos telegráficos fueron descubriendo poco a poco un efecto colateral imprevisto de su eficacia y brevedad. Eran peligrosamente vulnerables a los más mínimos errores. Como carecían de la natural redundancia de la prosa inglesa —incluso de la prosa abreviada del estilo telegráfico—, esos mensajes astutamente codificados podían verse alterados por un error en una sola letra. O por un solo punto, para ser exactos. Por ejemplo, el 16 de junio de

1887, un tratante de madera de Filadelfia llamado Frank Primrose telegrafió a su agente en Kansas para decirle que había *comprado* (BOUGHT) —abreviado en su código particular en *compara* (BAY)— quinientas mil libras de lana. Cuando llegó el mensaje, la palabra clave se había convertido en *compra* (BUY). El agente empezó a comprar lana, y en poco tiempo el error le costó a Primrose veinte mil dólares, según el pleito que puso a la Compañía Telegráfica Western Union. La batalla legal se prolongó durante seis años, hasta que finalmente el Tribunal Supremo dio validez a la letra pequeña incluida al dorso del impreso que debía rellenarse para poner el telegrama; en él se especificaba el procedimiento a seguir para protegerse contra los errores:

Para evitar errores o retrasos, el remitente de un mensaje deberá pedirlo REPETIDO, es decir que se telegrafie de vuelta el texto a la oficina de origen para su comprobación [...] Dicha compañía no será responsable de los errores cometidos en [...] ningún mensaje NO REPETIDO [...] ni en ningún caso de los errores en mensajes cifrados u oscuros.^[5.71]

La compañía del telégrafo tenía que admitir los textos cifrados, pero estos no tenían por qué gustarle. El fallo del tribunal establecía el pago a Primrose de una indemnización por valor de 1.15 dólares, esto es el precio del envío del telegrama.

La escritura secreta era tan antigua como la propia escritura. De hecho cuando se inició, la escritura era un secreto para todo el mundo menos para unos pocos. Cuando el misterio se desveló, los hombres encontraron nuevas maneras de que sus palabras siguieran siendo algo privilegiado y recóndito. Reorganizaron las palabras en anagramas. O reflejaban en un espejo el texto escrito al revés. Inventaron la escritura cifrada.

En 1641, justo cuando comenzaba en Inglaterra la guerra civil, un librito anónimo catalogaba los numerosos métodos que se conocían de la denominada «criptografía».^[5.72] Entre ellos estaban el uso de papel y tinta especiales —zumo de limón o de cebolla, huevo crudo, o el «jugo destilado de luciérnaga»—, que podían ser visibles o no en la oscuridad. Por otra parte, la escritura podía ser oscurecida sustituyendo unas letras por otras, o inventando nuevos símbolos, o

escribiéndolos de derecha a izquierda, «cambiando de lugar cada letra según cierto orden insólito, como, por ejemplo, poner la primera letra en el extremo derecho de la línea, la segunda en el extremo izquierdo, etcétera». O bien un mensaje podía ser escrito en dos líneas:

T e o l l r a e l m s f m s e s p l u o w e u t e l
h s u d e s r a l o t a i h d , u p y s r e m s y i d
The souldiers are allmost famished, supply us or we must yield
(«Los soldados están casi muertos de hambre, mandadnos provisiones o
tendremos que rendirnos»)

Mediante la trasposición o la sustitución de las letras, los romanos y los judíos habían ideado otros métodos más enrevesados y por consiguiente más oscuros.

El librito en cuestión se llamaba *Mercury: or the Secret and Swift Messenger. Shewing, How a Man may with Privacy and Speed communicate his Thoughts to a Friend at any Distance* («Mercurio o Mensajero veloz y secreto. En el que se muestra cómo un hombre con privacidad y rapidez puede comunicar sus pensamientos a un amigo a cualquier distancia»). Al final el autor del libro resultó ser John Wilkins, vicario y matemático, que luego llegaría a rector (*master*) del Trinity College de Cambridge, y sería uno de los fundadores de la Royal Society. «Era un individuo muy ingenioso y tenía una mente muy mecánica», dijo un contemporáneo suyo. «Hombre de muchas y profundas ideas [...], vigoroso, fuerte, fornido, ancho de espaldas.»^[5.73] Era además concienzudo. Si bien no podía mencionar todos los códigos usados desde tiempos antiguos, incluía todos los que hubiera podido conocer un erudito de la Inglaterra del siglo XVII. Hacía un repaso de la escritura en cifra propio de un pequeño manual o un compendio.

Para Wilkins las cuestiones de criptografía estaban muy cerca del problema fundamental de la comunicación. A su juicio, la escritura y la escritura secreta eran esencialmente lo mismo. Dejando a un lado lo de secreta, Wilkins planteaba el problema en los siguientes términos: «Cómo un hombre con rapidez y velocidad puede descubrir sus intenciones a alguien que está lejos de él.»^[5.74] Por *rapidez y velocidad* Wilkins entendía en 1641 algo filosófico; faltaba todavía un año para el nacimiento de Isaac Newton. «No hay nada tan veloz —

decimos— como el pensamiento», señalaba. Después del pensamiento la acción más rápida parecía que era la de la vista. Como clérigo, observaba que el movimiento más veloz de todos debía pertenecer a los ángeles y a los espíritus. Si un hombre pudiera mandar un ángel a hacer un recado, podría despachar sus asuntos a cualquier distancia. El resto, encerrados en cuerpos orgánicos, «no pueden comunicar sus pensamientos de un modo tan fácil e inmediato». No es de extrañar, decía Wilkins, que los ángeles sean llamados mensajeros.

Como matemático, consideraba el problema desde otra perspectiva. Se proponía determinar cómo podía conseguirse que un grupo restringido de símbolos —quizá solo dos, tres o cinco— sustituyera a todo el alfabeto. Tendrían que ser usados combinadamente. Por ejemplo, un grupo de cinco símbolos —a, b, c, d, e— usados por parejas podía sustituir a un alfabeto de veinticinco letras.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	V	W	X	Y	Z	&
aa	ab	ac	ad	ae	ba	bb	bc	bd	be	ca	cb	cc	cd	ce	da	db	dc	dd	de	ea	eb	ec	ed	ee

«Según esto», añadía Wilkins, «las palabras *I am betrayed* [“Soy traicionado”] podrían escribirse así: *bb aacb abaedddbaaeceaead*». Así, pues, incluso un pequeño conjunto de símbolos podía ordenarse para expresar cualquier mensaje. Sin embargo, con un pequeño conjunto de símbolos, un determinado mensaje necesita una serie más larga de caracteres: «Más trabajo y más tiempo», añadía. Wilkins no explicaba que $25 = 5^2$, ni que tres símbolos tomados de tres en tres (aaa, aab, aac, etc.) producen veintisiete posibilidades porque $3^3 = 27$. Pero es evidente que daba por supuesto ese fundamento matemático. Su último ejemplo era un código binario, por arduo que resultara explicarlo en palabras:

Si trasponemos dos letras del alfabeto en cinco lugares, darán treinta y dos diferencias, y así servirán de sobra para las veinticuatro letras; para lo cual podrían aplicarse así:

A	B	C	D	E	F	G	H
aaaaa	aaaab	aaaba	aaabb	aabaa	aabab	aabba	aabbb
I	K	L	M	N	O	P	Q
abaaa	abaab	ababa	ababb	abbaa	abbab	abbba	abbbb
R	S	T	V	W	X	Y	Z
baaaa	baaab	baaba	baabb	babaa	babab	babba	babbb

Dos símbolos. En grupos de cinco. «Dan treinta y dos diferencias».

Esa palabra, *diferencias*, debió de chocar a los lectores de Wilkins (por pocos que fueran) y tuvo que parecerles una elección bien rara. Pero era deliberada y estaba cargada de significado. Wilkins estaba llegando a una concepción de la información en su forma más pura y general. La escritura era solo un caso especial: «Pues en general debemos señalar que *cualquier cosa que sea capaz de una diferencia competente, perceptible para cualquier sentido, puede ser un medio suficiente mediante el cual expresar las cogitaciones*».^[5.75] Una diferencia podía ser «dos campanas de notas distintas»; o «cualquier objeto que se vea, ya sea una llama, o humo, etc.»; o trompetas, o cañones, o tambores. Cualquier diferencia significaba una oposición binaria. Y cualquier oposición binaria iniciaba la expresión de las cogitaciones. Ahí, en ese arcano y anónimo tratado de 1641, la idea esencial de la teoría de la información salió a la superficie del pensamiento humano, vio su sombra, y volvió a desaparecer durante cuatrocientos años.

La contribución de los diletantes es lo que el especialista en historia de la criptografía David Kahn llama la alborotada era desencadenada por la llegada del telégrafo.^[5.76] Se suscitó un nuevo interés público por la escritura cifrada justo cuando el tema se puso de moda en ciertos círculos intelectuales. Los antiguos métodos de escritura secreta llamaron la atención de una extraña variedad de gentes, creadores de enigmas y aficionados a los juegos, con propensión a las matemáticas o a la poesía. Esos individuos estudiaron los antiguos métodos criptográficos e inventaron otros nuevos. Los teóricos discutían quién debía prevalecer, si el mejor creador o el mejor descifrador de códigos. El gran popularizador de la criptografía en América fue Edgar Allan Poe. En sus cuentos fantásticos y en sus artículos de revista hacía publicidad de

aquel arte antiguo y se jactaba de su propia habilidad en la materia. «Apenas podemos imaginarnos una época en la que no existía una necesidad, ni siquiera un deseo», escribía en el *Graham's Magazine* en 1841, «de transmitir información de un individuo a otro, de modo que se eludiera la comprensión general».^[5.77] Para Poe, la creación de un código era algo más que un entusiasmo histórico o técnico; era una obsesión. Reflejaba su idea de cómo nos comunicamos con el mundo. Los creadores de códigos y los escritores trafican en una misma mercancía. «El alma es una cifra, en el sentido de que es un criptograma; y cuanto más corto sea el criptograma, más difícil es su comprensión», decía.^[5.78] Lo secreto estaba en la naturaleza de Poe; prefería el misterio a la transparencia.

«La intercomunicación secreta debió de existir casi contemporáneamente a la invención de las letras», afirmaba. Para Poe era un puente entre la ciencia y lo oculto, entre la mente racional y el sabio.^[5.79] Estudiar la criptografía —«una cosa seria, como medio de impartir información»— exigía una forma especial de energía mental, una mente penetrante, y podía enseñarse en las universidades. Decía una y otra vez que «se requiere la intervención de una acción mental especial». Como reto a sus lectores, publicó una serie de sustitución de cifras.

Lo mismo que Poe, Julio Verne y Honoré de Balzac introdujeron los códigos en sus ficciones. En 1868, Lewis Carroll tenía una tarjeta que llevaba impresa en las dos caras lo que él llamaba «La cifra del telégrafo», que empleaba un «alfabeto clave» y un «alfabeto mensaje» que era preciso trasponer según una palabra secreta acordada y guardada en su memoria por los correspondientes.^[5.80] Pero el estudioso más avanzado de la criptografía en la Inglaterra victoriana fue Charles Babbage. El proceso de sustituir los símbolos, de cruzar los niveles de significado, se esconde en el fondo de muchos de sus problemas. Y a él le encantaba ese reto. «Una de las características más singulares del arte del desciframiento», afirmaba, «es la fuerte convicción que tienen todas las personas, incluso las que están moderadamente familiarizadas con él, de que son capaces de construir un código que nadie más puede descifrar. También he observado que cuanto más inteligente es la persona, más íntima es esa convicción».^[5.81] Él mismo lo creía al principio, pero luego cambió de bando y se puso del lado de los descifradores. Proyectoó una obra magistral que debía titularse la *Filosofía del desciframiento*, pero nunca llegó a completarla.

Resolvió, entre otros, un código polialfabético llamado el cifrado Vignère, *le chiffre indéchiffrable*, considerado el más seguro de Europa.^[5.82] Como en el resto de su obra, aplicó métodos algebraicos, expresando el criptoanálisis en forma de ecuaciones. Aun así, seguía siendo un diletante y lo sabía.

Cuando Babbage atacó la criptografía con el cálculo, empleó los mismos instrumentos con los que había explorado de forma más convencional el campo que les era propio, las matemáticas, y de manera menos convencional el reino de la mecánica, en el que creó un simbolismo para mover parte de los engranajes, las palancas y los interruptores. Dionysius Lardner había dicho de la notación mecánica que «una vez expresadas sobre el papel mediante símbolos adecuados las diversas piezas de la maquinaria, el investigador desecha por completo de su pensamiento el mecanismo propiamente dicho y atiende solo a los símbolos [...] un sistema casi metafísico de signos abstractos, mediante los cuales el movimiento de la mano ejecuta el oficio de la mente».^[5.83] Dos jóvenes ingleses, Augustus De Morgan y George Boole, aplicaron la misma metodología a un material todavía más abstracto: las proposiciones lógicas. De Morgan era amigo de Babbage y tutor de Ada Byron y catedrático del University College de Londres. Boole era hijo de un zapatero de Lincolnshire y de la doncella de una lady y en la década de 1840 llegó a catedrático del Queen's College de Cork. En 1847 publicaron por separado, pero simultáneamente unos libros que supusieron el mayor hito en el desarrollo de la lógica desde Aristóteles: *El análisis matemático de la lógica, que es un ensayo del cálculo del razonamiento deductivo* de Boole, y la *Lógica formal, o Cálculo de inferencias necesarias y probables*, de De Morgan. El tema, debido a su carácter esotérico, llevaba siglos estancado.

De Morgan sabía más acerca de la tradición escolástica del tema, pero Boole era un matemático más original y librepensador. Durante años mantuvieron por correo un intercambio de ideas sobre la posibilidad de convertir el lenguaje o la verdad en símbolos algebraicos. X podía significar «vaca» e Y «caballo». Podía tratarse de una sola vaca o de un miembro del conjunto de todas las vacas. (¿Lo mismo?). En forma algebraica los símbolos podían ser manipulados. XY podía ser el «nombre de todo lo que es tanto X como Y », mientras que X, Y correspondía al «nombre de todo lo que es o X o Y ».^[5.84] Bastante sencillo, en efecto... Pero el lenguaje no es sencillo y las complicaciones eran cada vez

mayores. «Pues bien, algunas Z no son X , por ejemplo los ZY », decía De Morgan en un determinado momento, «sino que son *no existentes*. Podríamos decir por tanto que los *no existentes* no son X . Un caballo no existente no es ni siquiera un caballo; y (*a fortiori?*) tampoco una vaca».^[5.85]

Y añadía irónicamente: «No pierdo la esperanza de ver que dan ustedes significado a este nuevo tipo de cantidad negativa». No lo daba por seguro, pero tampoco lo descartaba.

Boole concebía este sistema como matemáticas sin números. «Es un hecho incontrovertible», decía, «que las leyes últimas de la lógica —solo aquellas sobre las que es posible construir una ciencia de la lógica— son matemáticas en su forma y en su expresión, aunque no pertenezcan a las matemáticas de la cantidad».^[5.86] Los únicos números permitidos, decía, son el cero y el uno. Era todo o nada: «La respectiva interpretación de los símbolos 0 y 1 en el sistema de lógica son *Nada* y *Universal*».^[5.87] Hasta ese momento la lógica había pertenecido a la filosofía. Boole reclamaba su posesión en nombre de las matemáticas. Al hacerlo, estaba concibiendo una nueva forma de codificación. Su libro de código emparejaba dos tipos de simbolismo, abstraídos ambos del mundo de las cosas. Por un lado estaba un conjunto de caracteres tomados del formalismo de las matemáticas: p y q , $+$ y $-$, llaves $\{ \}$ y corchetes $[]$. Por otro estaban las operaciones, proposiciones, y relaciones expresadas habitualmente en el lenguaje confuso y mutable de la vida cotidiana: palabras sobre la verdad y la falsedad, pertenencia a una clase u otra, premisas y conclusiones. Había también partículas: «*si*», «*o bien*», «*o*». Estos eran los elementos del credo de Boole:

- La lengua es un instrumento de la razón humana, y no solo un medio para la expresión del pensamiento.
- Los elementos de los que consta toda lengua son signos o símbolos.
- Las palabras son signos. A veces se dice que representan cosas; y a veces las operaciones a través de las cuales la mente combina las meras nociones de las cosas en conceptos complejos.
- Las palabras [...] no son los únicos signos que somos capaces de emplear. Marcas arbitrarias, que hablan solo a los ojos, y sonidos o acciones arbitrarias [...] tienen asimismo naturaleza de signos.^[5.88]

La codificación, la conversión de una modalidad en otra, tenían una finalidad. En el caso del código Morse, la finalidad era convertir el lenguaje cotidiano en una forma apta para la transmisión cuasi instantánea a través de kilómetros y kilómetros de cables de cobre. En el caso de la lógica simbólica, la nueva forma era apta para la manipulación por medio del cálculo. Los símbolos eran como pequeñas cápsulas que protegieran su delicado cargamento del viento y la niebla de la comunicación cotidiana. Cuánto más seguro era escribir

$$1 - x = y(1 - z) + z(1 - y) + (1 - y)(1 - z)$$

que la proposición del lenguaje real a la que, en un ejemplo típicamente booleano, venía a sustituir:

Bestias inmundas son todas las que tienen dividida la pezuña y no rumian, todas las que rumian y no tienen dividida la pezuña, y todas las que ni tienen dividida la pezuña ni rumian. [\[5.89\]](#)

La seguridad venía en no pequeña medida de vaciar las palabras de significado. Signos y símbolos eran no solo sustitutivos, sino que eran operadores, como los engranajes o las palancas de una máquina. La lengua, al fin y al cabo, es un instrumento.

En aquellos momentos era vista claramente como un instrumento con dos funciones distintas: expresión y pensamiento. El pensamiento era lo primero, o eso daba la gente por supuesto. Para Boole la lógica *era* pensamiento, pulido y purificado. Escogió como título para su obra maestra, aparecida en 1854, *Las leyes del pensamiento*. No fue casualidad que los telegrafistas pensaran también que estaban generando una nueva percepción de lo que era el envío de mensajes dentro del cerebro. «Una palabra es un instrumento para pensar antes de que el pensador la use como señal para comunicar su pensamiento», afirmaba un articulista del *Harper's New Monthly Magazine* en 1873. [\[5.90\]](#)

Quizá la influencia más extendida e importante que está destinado a ejercer el telégrafo sobre la mente humana es la que desarrollará en último término a través de su influjo en el lenguaje [...] Por el principio que Darwin llama de selección natural, las palabras cortas tienen ventaja sobre las largas, las formas directas de expresión tienen ventaja sobre las indirectas, las palabras de significado concreto tienen ventaja sobre las de significado ambiguo, y las expresiones locales están en

todas partes en desventaja.

La influencia de Boole fue lenta y sutil. Mantuvo una breve correspondencia con Babbage, pero nunca llegaron a conocerse. Uno de sus paladines fue Lewis Carroll, quien, casi al final de su vida, un cuarto de siglo después de la aparición de su *Alicia en el país de las maravillas*, escribió dos volúmenes de instrucción, rompecabezas, diagramas, y ejercicios de lógica simbólica. Aunque su simbolismo era impecable, sus silogismos resultaban bastante estafalarios:

1. Los niños no tienen lógica.
2. No es despreciado nadie que sepa domar un cocodrilo.
3. Las personas que no tienen lógica son despreciadas.
4. (Concl.) Los niños no saben domar cocodrilos.

La versión simbólica de todo esto — $b_1d_0 \dagger ac_0 \dagger d'_1c'_0; \underline{bd} \dagger \underline{d'} \underline{c'} \dagger \underline{ac}$ ¶ $ba_0 \dagger b_1$, esto es ¶ b_1a_0 —, debidamente vaciada de significado, permitía al usuario llegar a la conclusión deseada sin tropezar con proposiciones extrañas intermedias del tipo «los niños son despreciados».

A principios del nuevo siglo, Bernard Russell hizo un extraordinario cumplido a George Boole: «La matemática pura fue descubierta por Boole en una obra que tituló las *Leyes del pensamiento*».^[5.91] Este pasaje ha sido citado muy a menudo. Lo que hace extraordinario el cumplido es el juicio despectivo que emitía Russell a continuación y que rara vez se cita:

Se equivocaba también al suponer que estudiaba las leyes del pensamiento: la cuestión de cómo piensan en realidad las personas era totalmente irrelevante para él, y si su libro ha contenido realmente las leyes del pensamiento, es curioso que hasta ahora no lo haya pensado nunca nadie.^[5.92]

Casi podríamos pensar que a Russell le gustaban las paradojas.

NUEVOS CABLES, NUEVA LÓGICA

(No hay nada que esté más envuelto en lo desconocido)

La perfecta simetría de todo el aparato —el cable en medio, los dos teléfonos a ambos extremos del cable, y las dos conversaciones a ambos extremos de los teléfonos— puede resultar muy fascinante para un simple matemático.^[6.1]

JAMES CLERK MAXWELL (1878)

Un chico curioso de una población rural de los años veinte quizá desarrollara de forma natural cierto interés por enviar mensajes a través de claves, como le ocurrió a Claude Shannon en Gaylord, Michigan. Veía los cables cada día cercando los prados: alambres dobles de acero, trenzados y con espinos, tendidos de poste a poste. Birlando las piezas que pudo improvisó su propio telégrafo de alambre de espino, y se dedicaba a mandar mensajes con él a otro chico que vivía a un kilómetro de su casa. Utilizaba el código inventado por Samuel F. B. Morse. Le iba muy bien. Le gustaba la idea de los códigos: no ya códigos secretos, sino códigos en el sentido más general del término, palabras o símbolos que sustituyeran a otras palabras o símbolos. Tenía un espíritu inventivo y juguetón. El niño siguió viviendo en él cuando se hizo hombre. Toda su vida se dedicó a jugar y a inventar juegos. Era un inventor de artilugios. De mayor se dedicó a los juegos malabares e inventó teorías sobre el malabarismo. Cuando los investigadores del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) o de los Laboratorios Bell tenían que quitarse precipitadamente de en medio para dejar pasar a un monociclo, era Shannon. Pero en él había algo más que el componente juguetón, y de niño le tocó digerir

una gran dosis de soledad, circunstancia que unida a su ingenio para arreglar e improvisar desperfectos dio lugar a la aparición de su telégrafo de alambre espinoso.

Gaylord eran prácticamente cuatro calles y unas cuantas tiendas que cortaban los vastos campos de cultivo de la península de Michigan.^[6.2] Desde allí y por todas las llanuras y praderas hasta las Montañas Rocosas el alambre de espino se había extendido como una enredadera, generando fortunas industriales aunque no fuera una tecnología particularmente brillante en medio del entusiasmo de la que ya se llamaba Edad de la Electricidad. Desde 1874, cuando un agricultor de Illinois recibió la Patente de los Estados Unidos N.º 157,124 por «una nueva y valiosa mejora en los cables para vallados», proliferaron las luchas encarnizadas por la propiedad del invento, que acabaron por llegar al Tribunal Supremo, mientras el cable iba definiendo territorios y cerraba las extensiones de campo abierto. En el momento de mayor auge, los agricultores, rancheros y compañías ferroviarias estadounidenses tendían más de un millón y medio de kilómetros de alambradas al año. En conjunto los alambres para vallados del país formaban no ya una telaraña o una red, sino una especie de enrejado roto. Su finalidad había sido separar, no conectar. Para la electricidad ese tipo de cables constituía un mal conductor, incluso cuando el tiempo era seco. Pero el cable era cable, y Claude Shannon no fue el primero en ver aquel inmenso enrejado como una potencial red de comunicaciones. Miles de agricultores de lugares remotísimos tuvieron la misma idea. Como no estaba dispuesta a esperar que las compañías telefónicas se decidieran a salir de los centros urbanos, la gente del campo formó cooperativas de teléfono de alambre de espino. Sustituyeron las grapas de metal por corchetes aislados. Acoplaron pilas secas y tubos acústicos y añadieron el alambre sobrante de sus vallados para salvar las distancias. En el verano de 1895 *The New York Times* informaba: «No cabe duda de que actualmente se está haciendo en muchos sitios uso de teléfonos rudimentarios. Por ejemplo, un grupo de agricultores de Dakota del Sur ha improvisado una red telefónica que cubre casi quince kilómetros de cable valiéndose de transmisores y estableciendo la conexión con el alambre espinoso usado para los vallados en esa parte del país».^[6.3] El reportero comentaba: «La idea es ir ganando terreno hasta que llegue el día del teléfono barato para millones y millones de personas. Si esa impresión es una idea razonable o no es una cuestión que dejamos abierta».

Evidentemente la gente estaba ansiosa por las conexiones. Los ganaderos que despreciaban los vallados porque convertían el campo abierto en parcelas enganchaban ahora sus tubos acústicos para escuchar las cotizaciones del mercado, los informes meteorológicos, o simplemente oír a través de los crujidos de los cables el simulacro atenuado de la voz humana, cosa que resultaba ya de por sí muy emocionante.

Tres grandes olas de comunicación eléctrica alcanzaron sucesivamente su plenitud: la telegrafía, la telefonía y la radio. La gente empezó a pensar que era natural poseer máquinas dedicadas a enviar y recibir mensajes. Aquellos aparatos cambiaron la topología: desgarraron el tejido social y volvieron a cohesionarlo, añadieron entradas y empalmes donde antes solo había habido distancia vacía. Ya a comienzos del siglo XX empezaron a resultar inquietantes los efectos no previstos que pudieran tener sobre la conducta social. El superintendente de la línea de Wisconsin mostraba su preocupación por los jóvenes, hombres y mujeres, que se pasaban «todo el tiempo haciendo que el cable echara chispas» entre Eau Claire y Chippewa Falls. «Este uso gratuito de la línea para flirtear ha alcanzado unas cotas muy alarmantes», decía, «y si queremos que funcione, alguien tendrá que pagar por ello». Las compañías Bell intentaron disuadir del uso frívolo de la telefonía, particularmente por parte de las mujeres y de la servidumbre. En las cooperativas de agricultores, que siguieron sin pagar a las compañías telefónicas hasta los años veinte, se impuso un espíritu más libre. La Montana East Line Telephone Association —integrada por ocho miembros— enviaba noticiarios «actualizados al minuto» por todas sus redes, pues los hombres también tenían radio.^[6.4] Y los niños también querían entrar en el juego.

Claude Elwood Shannon, nacido en 1916, llevaba el nombre completo de su padre, un hombre de negocios hecho a sí mismo —muebles, pompas fúnebres, e inmobiliarias— y juez testamentario, ya de mediana edad. El abuelo de Claude, que era granjero, había inventado una máquina para lavar la ropa: una tina impermeable, un brazo de madera y un émbolo. Su madre, Mabel Catherine Wolf, hija de inmigrantes alemanes, era profesora de lengua y en un momento dado llegó a directora de la escuela secundaria. Su hermana mayor, Catherine Wolf Shannon (a los Shannon no les gustaba mucho la variación en los nombres), estudió matemáticas y solía entretener a Claude con rompecabezas y

acertijos. Vivían en Center Street, a unas pocas manzanas al norte de Main Street. La ciudad de Gaylord tenía apenas tres mil almas, pero eran suficientes para mantener una banda con uniformes teutónicos e instrumentos refulgentes, y cuando estaba en la escuela primaria Claude tocaba una trompa tenor más ancha que sus hombros. Tenía un mecano y libros. Hacía aeromodelismo y ganaba algún dinero repartiendo telegramas para la oficina local de la Western Union. Además resolvía criptogramas. Cuando se quedaba solo, leía y releía libros; un relato que le encantaba era *El escarabajo de oro*,^[6.5] de Edgar Allan Poe, que se desarrolla en una remota isla del sur, y en la que sale un singular personaje, William Legrand, un hombre con un «cerebro excitable» y unos «poderes mentales insólitos», aunque sufría «enfermizos cambios de humor, alternando el entusiasmo y la melancolía», en otras palabras, un trasunto de su creador. Protagonistas ingeniosos como este eran los que necesitaban aquellos tiempos y los que precisamente fueron conjurados por Poe y otros autores clarividentes, como Arthur Conan Doyle y H. G. Wells. El héroe del *Escarabajo de oro* encuentra un tesoro escondido descifrando un criptograma escrito en un pergamino. Poe despliega la serie de números y símbolos («trazados torpemente con una tinta roja entre la calavera y la cabra»)

53†††305)) 6*;4826)4†.)4†);806*;48†8 †
60))85;1†(:;†*8†83(88)5*†;46(;88*96*?;8)*
†(;485);5*†2:*†(;4956*2(5*_4)8§8*;4069285);)6†8)4††;1(†9;48081;8:8†
1;48†85;4)485†528806*81(†9;48;(88;4 (†?34;48)4†;161;;188;†?

y conduce al lector por todos los recovecos de su construcción y su deconstrucción. «Las circunstancias y cierta predisposición de la mente me han llevado a interesarme por tales enigmas», afirmaba su siniestro héroe, provocando el entusiasmo del lector que pudiera tener la misma predisposición de la mente que él.^[6.6] La solución conduce al oro, pero en realidad a nadie le importa el oro. La emoción está en el código: misterio y transmutación.

Claude acabó la escuela secundaria de Gaylord en tres años en vez de los cuatro de rigor y en 1932 ingresó en la University of Michigan, donde estudió ingeniería eléctrica y matemáticas. Poco antes de licenciarse en 1936 vio en un tablón de anuncios una tarjeta postal en la que se anunciaba un trabajo para un

estudiante de postgrado en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Vannevar Bush, por entonces decano de la escuela de ingeniería, buscaba un auxiliar de investigación para que se encargara de una nueva máquina que llevaba un nombre singular: Analizador Diferencial. Era una plataforma de mecanismos de ruedas y engranajes de acero de cien toneladas. Los periódicos la llamaban «cerebro mecánico» o «máquina pensante»; un titular típico afirmaba:

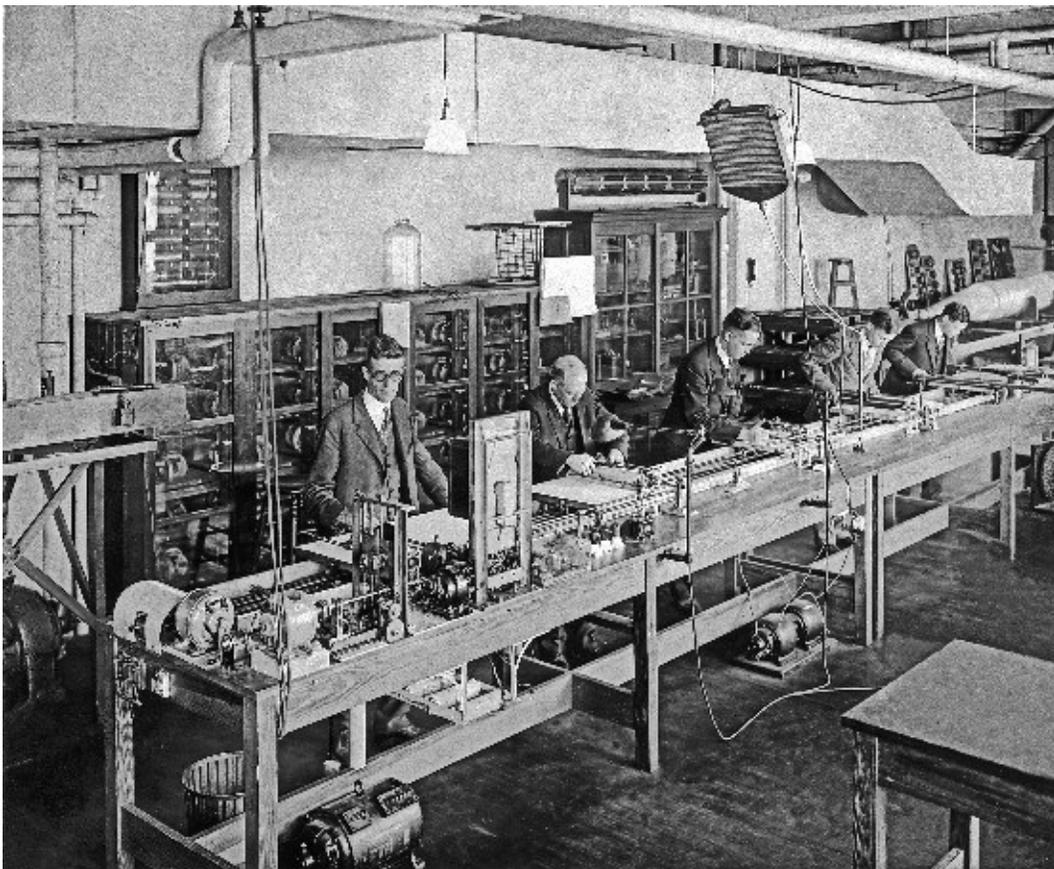
La «Máquina Pensante» hace ejercicios de matemática superior Resuelve ecuaciones que los humanos tardan meses en resolver.^[6.7]

La Máquina Diferencial y la Máquina Analítica de Babbage parecían fantasmas ancestrales, pero a pesar de los ecos que pudiera sugerir su nombre y de la semejanza de sus fines, el Analizador Diferencial no debía prácticamente nada a Babbage. Bush casi ni había oído hablar de él. A diferencia de Babbage, Bush odiaba el trabajo del mero cálculo, que consideraba un engorro y una pérdida de tiempo. «Un matemático no es un hombre que sabe manipular las cifras con rapidez; a menudo no es así», escribía Bush. «Fundamentalmente es un individuo hábil en el uso de la lógica simbólica de alto nivel, y especialmente es un hombre que tiene juicio intuitivo.»^[6.8]

Durante los años inmediatamente posteriores a la primera guerra mundial el MIT fue uno de los tres pilares del país para la floreciente ciencia práctica de la ingeniería eléctrica, junto con los Laboratorios Telefónicos Bell (BTL) y General Electric. Era también un centro con una necesidad voraz de resolver ecuaciones, especialmente ecuaciones diferenciales, y en particular ecuaciones diferenciales de segundo orden. Las ecuaciones diferenciales expresan índices de cambio: de posición a velocidad y a aceleración. Son difíciles de resolver analíticamente, y surgen en todo momento. Bush había diseñado su máquina para abordar todo este tipo de problemas y de paso todo el conjunto de sistemas físicos que los generaban. Al igual que las máquinas de Babbage, su aparato era esencialmente mecánico, aunque utilizaba motores eléctricos para mover todo el pesado conjunto y, a medida que fue evolucionando, iba empleando cada vez interruptores electromecánicos.

A diferencia de la máquina de Babbage, el analizador diferencial no manejaba números. Trabajaba con cantidades: generando curvas, como le

gustaba decir a Bush, para representar el futuro de un sistema dinámico. Hoy día diríamos que era analógico, no digital. Sus ruedas y sus discos estaban dispuestos para producir una analogía física de las ecuaciones diferenciales. En cierto modo era un descendiente monstruoso del planímetro, un pequeño instrumento de medición que traducía la integración de las curvas al movimiento de una rueda. Profesores y estudiantes llegaban ante el Analizador Diferencial en actitud suplicante y cuando la máquina lograba resolver sus ecuaciones con un dos por ciento de exactitud, el operador Claude Shannon se sentía encantado. En cualquier caso se sentía francamente cautivado por esta «computadora»^[6.9] y no solo por la parte analógica estridente y estrepitosa que llenaba una habitación entera, sino por los controles eléctricos casi silenciosos (salvo por el ocasional clic del encendido y el apagado).



El Analizador Diferencial de Vannevar Bush en el MIT.

Los había de dos tipos: dispositivos ordinarios y dispositivos especiales llamados relés o relevadores (cf. la progenie del telégrafo). El relé era un

dispositivo eléctrico controlado por electricidad (una idea redundante). Para el telégrafo, la cuestión era llegar a las distancias más remotas formando una cadena. Para Shannon, la cuestión no era la distancia, sino el control. Cien relés, sofisticadamente interconectados, encendiéndose y apagándose según una determinada secuencia, coordinaban el Analizador Diferencial. Los mejores expertos en circuitos complejos de elevadores eran los ingenieros de teléfonos; los relés controlaban el encaminamiento de las llamadas a través de las centralitas telefónicas, así como la maquinaria de las líneas de montaje de las fábricas. Se habían diseñado circuitos de relés para cada caso en particular. A nadie se le había ocurrido estudiar la idea sistemáticamente, pero Shannon estaba buscando un tema para su tesis doctoral, y vio una posibilidad en ella. Durante su último año en la facultad había hecho un curso de lógica simbólica y cuando intentó hacer una lista ordenada de los posibles sistemas de interruptores de los circuitos, tuvo una extraña sensación de *déjà vu*. De una forma profundamente abstracta, aquellos problemas adoptaban un orden. Podía utilizarse la característica notación artificial de la lógica simbólica, el «álgebra» de Boole, para describir los circuitos.

Establecer esa conexión resultaba complicado. El mundo de la electricidad y el de la lógica no parecían congruentes. Pero Shannon se dio cuenta de que saber qué relé pasa de un circuito a otro no es realmente electricidad, sino más bien un hecho: el hecho de si el circuito está abierto o no. Si un circuito está abierto, entonces un relé puede hacer que el siguiente circuito se abra. Pero también es posible lo contrario, la disposición negativa: cuando un circuito está abierto, un relé puede hacer que el siguiente circuito se cierre. Describir las posibilidades con palabras resultaba engorroso; era más simple reducirlas a símbolos, y para un matemático era perfectamente natural manejar los símbolos en ecuaciones. (Charles Babbage había dado algunos pasos en la misma dirección con su notación mecánica, pero Shannon no sabía nada de eso).

«Se desarrolla un cálculo para manipular esas ecuaciones mediante simples procesos matemáticos»: con este toque de trompeta Shannon daba comienzo a su tesis en 1937. Hasta ese momento las ecuaciones solo representaban combinaciones de circuitos. Luego, «se demuestra que el cálculo es exactamente análogo al cálculo de proposiciones empleado en el estudio simbólico de la lógica». Al igual que Boole, Shannon demostraba que solo necesitaba dos

números para sus ecuaciones: el cero y el uno. El cero representaba un circuito cerrado, y el uno representaba un circuito abierto. Encendido o apagado. Sí o no. Verdadero o falso. Shannon no hacía más que seguir las consecuencias. Empezaba por los casos sencillos: circuitos de dos conmutadores, en serie o en paralelo. Los circuitos en serie, señalaba, correspondían a la función lógica *y*; mientras que los circuitos en paralelo tenían el mismo efecto que *o*; una operación de lógica que podía ser contrapuesta eléctricamente era la negación, convirtiendo un valor en su contrario. Como en la lógica, pensaba que los sistemas de circuitos podían plantear opciones «si [...] entonces». Antes de darse por vencido, había analizado redes «en estrella» y «en malla» de complejidad cada vez mayor, definiendo postulados y teoremas para trabajar con sistemas de ecuaciones simultáneas. Continuaba esta escalada de abstracciones con ejemplos prácticos: inventos sobre el papel, unos prácticos y otros simplemente estafalarios. Hizo un esquema del diseño de una cerradura de combinación eléctrica, que se hacía a partir de cinco botones interruptores. Diseñó un circuito que «añadiría automáticamente dos números usando solo relés e interruptores»; [6.10] por conveniencia, proponía una aritmética en base dos. «Es posible realizar operaciones matemáticas complejas mediante circuitos de relés», decía. «En efecto, cualquier operación que pueda describirse completamente en un número finito de pasos usando los términos *si*, *o*, *y*, etc. puede hacerse automáticamente con relevadores». Como tema de trabajo para un estudiante de ingeniería eléctrica era algo inaudito: una tesis típica trataba de refinamientos de los motores eléctricos o las líneas de transmisión. A nadie le interesaba demasiado una máquina capaz de resolver enigmas de lógica, pero abría expectativas hacia el futuro. Circuitos lógicos. Aritmética binaria. En esa tesis doctoral de un auxiliar de investigación estaba la esencia de la revolución de los informadores todavía por venir.

Shannon pasó un verano trabajando en los Laboratorios Telefónicos Bell en Nueva York y luego, a propuesta de Vannevar Bush, cambió la ingeniería eléctrica por las matemáticas en el MIT. Bush le sugirió también que investigara la posibilidad de aplicar un álgebra de símbolos —su «álgebra rara»— [6.11] a la incipiente ciencia de la genética, cuyos elementos básicos, genes y cromosomas,

eran conocidos solo vagamente. De ese modo Shannon empezó a trabajar en una ambiciosa tesis que iba a llamarse «Álgebra para una genética teórica». Los genes, según decía, eran un constructo teórico.^[6.12] Se creía que eran transportados por los corpúsculos baciliformes llamados cromosomas, visibles al microscopio, pero nadie sabía exactamente cómo estaban estructurados los genes ni siquiera si eran reales o no. «No obstante», como señalaba Shannon, «es posible para lo que a nosotros nos interesa hacer como si lo fueran [...] Hablaremos, por consiguiente, como si los genes existieran realmente y como si nuestra simple representación de los fenómenos hereditarios fuera realmente cierta, pues por lo que a nosotros respecta podría ser perfectamente así». Ideó una serie de letras y números que representaban «fórmulas genéticas» de un individuo; por ejemplo, una pareja de cromosomas y cuatro posiciones de genes podían representarse de la siguiente manera:

$$\begin{array}{cc} A_1 B_2 C_3 D_5 & E_4 F_1 G_6 H_1 \\ A_3 B_1 C_4 D_3 & E_4 F_2 G_6 H_2 \end{array}$$

En tal caso, los procesos de combinación genética y de mestizaje podían ser previstos mediante un cálculo de sumas y multiplicaciones. Era una especie de mapa de carreteras, extraído de la enrevesada realidad biológica. Shannon explicaba: «Para los no matemáticos debemos recordar que un tópico del álgebra moderna es que los símbolos representen conceptos que no son solo números». El resultado era complejo, original y bastante alejado de cualquier cosa que hicieran los cultivadores de este campo.^(6.13) Nunca se molestó en publicarlo.

Mientras tanto, a finales del invierno de 1939, escribió a Bush una carta muy larga hablando de una idea con la que estaba muy encariñado:

De vez en cuando he venido trabajando en el análisis de algunas propiedades fundamentales de los sistemas generales de transmisión de datos [*intelligence*], entre ellos la telefonía, la radio, la televisión, la telegrafía, etc. Prácticamente todos los sistemas de comunicación podrían incluirse en la siguiente fórmula general:

$$f_1(t) \rightarrow \boxed{T} \rightarrow F(t) \rightarrow \boxed{R} \rightarrow f_2(t) \quad [6.14]$$

T y R eran un transmisor y un receptor. Eran los intermediarios de tres «funciones de tiempo», $f(t)$: «información que hay que transmitir», la señal, y el producto final (output), que, naturalmente, se suponía que fuera tan idéntico al aporte inicial (input) como fuese posible. («En un sistema ideal sería su réplica exacta»). El problema, tal como lo veía Shannon, era que los sistemas reales siempre sufren una *distorsión*, término del que proponía dar una definición rigurosa en forma matemática. Había además un *ruido* («por ejemplo estático»). Shannon contaba a Bush que estaba intentando demostrar algunos teoremas. Además, y no de forma tangencial, estaba trabajando en una máquina para ejecutar operaciones matemáticas simbólicas, que realizara la labor del Analizador Diferencial y más, enteramente por medio de circuitos eléctricos. Tenía un largo camino que recorrer. «Aunque he hecho algunos progresos en varios puntos periféricos del problema, estoy todavía en gran medida a oscuras por lo que se refiere a resultados concretos», decía.

He elaborado una serie de circuitos que efectivamente llevarán a cabo la diferenciación y la integración de la mayoría de las funciones, pero el método no es lo bastante general ni demasiado natural para resultar plenamente satisfactorio. Me parece que parte de la filosofía general que está detrás de la máquina se me escapa todavía por completo.

Estaba delgadísimo, casi esquelético. Las orejas sobresalían apenas de su pelo ondulado, casi rapado. En el otoño de 1939, en una fiesta en el piso de Garden Street que compartía con tres compañeros, estaba un día tímidamente apoyado en la puerta de su habitación, oyendo un disco de jazz, cuando una chica empezó a tirarle palomitas de maíz. Era Norma Levor, una intrépida estudiante de Radcliffe de diecinueve años, natural de Nueva York. Había dejado la facultad para irse a vivir a París aquel verano, pero había regresado a raíz de la invasión de Polonia por la Alemania nazi; incluso en América, la amenaza de la guerra había empezado a alterar la vida de la gente. Claude le pareció tan oscuro por su temperamento y tan chispeante por su inteligencia como ella misma. Empezaron a verse cada día; el joven le escribía sonetos, sin

utilizar las mayúsculas, al estilo de E. E. Cummings. A Norma le encantaba cuánto le encantaban a él las palabras, por ejemplo la forma en que decía «álgebra *booooooooooleana*». En el mes de enero se casaron (ante un juez de Boston, sin ceremonia), y la chica lo siguió a Princeton, donde había recibido una beca postdoctorado.

La invención de la escritura había supuesto un catalizador para la lógica, al permitir razonar acerca del razonamiento —detener ante los ojos una secuencia de pensamiento para examinarla— y ahora, muchos siglos después, la lógica era reanimada debido a la invención de unas máquinas que podían trabajar con símbolos. En la lógica y en las matemáticas, las formas más excelsas de razonamiento, parecía que todo coincidía.

Mezclando la lógica y las matemáticas en un sistema de axiomas, signos, fórmulas y pruebas, parecía que los filósofos estaban a punto de alcanzar una especie de perfección: una certeza formal rigurosa. Ese era el objetivo de Bertrand Russell y de Alfred North Whitehead, los grandes gigantes del racionalismo inglés, que publicaron su monumental obra en tres volúmenes entre 1910 y 1913. Su título, *Principia Mathematica*, era un eco de la obra de Newton; su ambición era ni más ni menos que la perfección de toda la matemática. Finalmente era posible, afirmaban, gracias al instrumento de la lógica simbólica, con sus signos de obsidiana y sus reglas implacables. La misión que tenían era demostrar todos los hechos de las matemáticas. El proceso de demostración, cuando se llevaba a cabo debidamente, debía ser mecánico. A diferencia de las palabras, el *simbolismo*, afirmaban, permite una «expresión perfectamente precisa». Esa presa tan esquiva había sido perseguida por Boole, y antes de este por Babbage, y mucho antes de ellos por Leibniz, convencidos todos de que la perfección del razonamiento podía llegar con la codificación perfecta del pensamiento. Leibniz solo pudo imaginarlo: «Cierta escritura de la lengua», escribía en 1678, «que representa perfectamente las relaciones existentes entre nuestros pensamientos».^[6.15] Con esa codificación, las falsedades lógicas quedarían expuestas de inmediato.

Sus caracteres serían muy distintos de lo que ha venido imaginándose hasta

ahora [...] Los caracteres de esta escritura deberían estar al servicio de la invención y el juicio como en el álgebra y la aritmética [...] Usando esos caracteres, será imposible escribir quimeras.

Russell y Whitehead explicaban que el simbolismo resulta conveniente para las «ideas y los procesos más abstractos» usados en la lógica, con sus razonamientos concatenados.^[6.16] El lenguaje corriente funciona mejor con el fango y la cochambre del mundo corriente. Una frase como *una ballena es grande* utiliza simplemente palabras para explicar «un hecho complicado», observaban, mientras que *uno es un número* «da lugar, en la lengua, a una prolijidad insoportable». Comprender a las ballenas y las grandes dimensiones requiere un conocimiento y una experiencia de cosas reales, pero dominar lo que es *1* y *número* y todas las operaciones aritméticas asociadas con ellos, cuando son debidamente expresadas en símbolos disecados, debería ser algo automático.

Pero se habían fijado en que había algunos baches en la ruta, de que existían algunas de esas quimeras que debían ser imposibles. «Una gran parte del trabajo», decían en el prólogo, «se ha dedicado a las contradicciones y paradojas que han infectado la lógica». «Infectado» era una palabra muy fuerte, pero casi no llegaba a expresar la angustia que suponían las paradojas. Eran un verdadero cáncer.

Algunas eran conocidas desde la Antigüedad:

Epiménides de Creta dijo que todos los cretenses eran unos mentirosos y que todo lo que decían los cretenses era indudablemente mentira. ¿Era lo que decía una mentira?^[6.17]

Una formulación más clara de la paradoja de Epiménides —más clara porque no tenemos que preocuparnos de los cretenses ni de sus atributos— es la paradoja del mentiroso: *Lo que digo es falso*. Lo que digo no puede ser verdad, porque entonces es falso. Y no puede ser falso, porque entonces sería verdad. No es ni verdadero ni falso, o es las dos cosas a la vez. Pero el descubrimiento de esta circularidad retorcida, contradictoria e inconcebible no lleva ni a la vida ni al lenguaje a detenerse como consecuencia de una colisión —la persona capta la idea y sigue adelante—, pues la vida y el lenguaje carecen de la perfección, de los absolutos, que les den fuerza. En la vida real, todos los cretenses no pueden

ser mentirosos. Incluso los mentirosos a menudo dicen la verdad. Los disgustos empiezan solo con el intento de fabricar un recipiente completamente hermético. Russell y Whitehead buscaban la perfección —para la demostración—, de lo contrario su empresa habría dejado de tener sentido. Y cuanto más rigurosos eran, más paradojas encontraban. «Se tenía la sensación», ha escrito Douglas Hofstadter, «de que las cosas realmente especiales pueden suceder cuando las primas modernas de las viejas paradojas surgían dentro del mundo rigurosamente lógico de los números [...] en el paraíso primordial en el que nadie había soñado que pudiera aparecer la paradoja».^[6.18]

Una de ellas era la paradoja de Berry, planteada por primera vez a Russell por G. G. Berry, un bibliotecario de la Bodleiana. La paradoja en cuestión tiene que ver con el número de sílabas necesarias para definir un número entero. Generalmente, por supuesto, cuanto mayor sea el número se necesitarán más sílabas. En inglés, el entero más pequeño que necesita dos sílabas es siete (*seven*). El más pequeño que necesita tres es once (*eleven*). El número ciento veintiuno necesita, al parecer, seis (*one hundred twenty-one*), pero en realidad, con un poquito de astucia, bastarían cuatro: *eleven squared* («once al cuadrado»). Aun así, por mucha astucia que se use, solo hay un número finito de sílabas posibles y, por lo tanto, un número finito de nombres y, como dice Russell, «por consiguiente los nombres de algunos enteros deben constar al menos de diecinueve sílabas, o por lo menos debe caber en ellas. Así, pues, *el entero más pequeño no expresable en menos de diecinueve sílabas* debe describir un entero definido».^(6.19) Y ahora viene la paradoja. La expresión *el entero más pequeño no expresable en menos de diecinueve sílabas* contiene solo dieciocho sílabas. Así que el entero más pequeño no expresable en menos de diecinueve sílabas se ha expresado en menos de diecinueve sílabas.

Otra de las paradojas de Russell es la Paradoja del Barbero. El barbero es el (permítasenos decir) hombre que afeita a todos los hombres que no se afeitan solos, y solo a ellos. ¿Se afeita el barbero a sí mismo?^[6.20] Si se afeitara, no se afeitaría a sí mismo, y si no se afeitara a sí mismo, se afeitaría. A pocos les preocupan esos enigmas, pues en la vida real el barbero hace lo que le da la gana y el mundo sigue como si tal cosa. Solemos pensar, como dice Russell, que «la forma de las palabras en su totalidad no es más que ruido sin significado». Pero la paradoja no puede desecharse tan fácilmente cuando el matemático examina el

tema denominado teoría de los conjuntos o teoría de las clases. Los conjuntos son grupos de cosas, por ejemplo números enteros. Los elementos del conjunto 0, 2, 4 son números enteros. Un conjunto puede a su vez ser elemento de otros conjuntos. Por ejemplo, el conjunto 0, 2, 4 pertenece al conjunto de los *conjuntos de los números enteros* y al conjunto de *conjuntos de tres elementos*, pero no al conjunto de *conjuntos de números primos*. De modo que Russell definía un conjunto de la siguiente manera:

C es el conjunto de todos los conjuntos que no son elementos de sí mismos.

Esta versión es conocida como Paradoja de Russell. Y no puede ser desechada como mero ruido.

Para eliminar la Paradoja de Russell este tomó medidas drásticas. El factor que habilitaba la solución era aparentemente la propia recurrencia que contenía la afirmación causante del conflicto: la idea de los conjuntos que forman parte de otros conjuntos. La recurrencia era el oxígeno que alimentaba la llama. Del mismo modo, la paradoja del mentiroso se basa en una afirmación acerca de las afirmaciones. «Esta afirmación es falsa» es metalenguaje: lenguaje sobre el lenguaje. El conjunto paradójico de Russell se basa en un metaconjunto: un conjunto de conjuntos. El problema, pues, era un cruce de niveles o, como decía Russell, una mezcla de tipos. La solución que él proponía era declararlo ilegal, tabú, fuera de los límites. No mezclar distintos niveles de abstracción. No auto-referencia; no auto-contenido. Las reglas del simbolismo de los *Principia Mathematica* no permitían el circuito cerrado de realimentación reversible, como la pescadilla que se muerde la cola, que parecía abrir la posibilidad de la auto-contradicción. Ese era su cortafuegos.

Demos paso a Kurt Gödel.

Gödel nació en 1906 en Brno, en el centro de la provincia checa de Moravia. Estudió física en la Universidad de Viena, a unos ciento veinte kilómetros al sur de su ciudad natal, y a los veinte años pasó a formar parte del Círculo de Viena, grupo de filósofos y matemáticos que se reunían regularmente en algunos locales cargados de humo de la capital austríaca como el Café Reichstrat para defender la lógica y el realismo como baluarte contra la metafísica, término con el que se

referían al espiritualismo, la fenomenología o el irracionalismo. Gödel hablaba sobre la Nueva Lógica (término que estaba en el ambiente) y poco después hablaría de metamatemática, *die Metamathematik*. La metamatemática no era a la matemática lo que la metafísica a la física. Eran las matemáticas una vez desechadas —matemáticas acerca de las matemáticas—, un sistema formal «contemplado desde fuera» (*äusserlich betrachtet*).^[6.21] Gödel estaba a punto de realizar la afirmación más importante, a demostrar el teorema más importante del siglo XX acerca del conocimiento. Iba a acabar con el sueño de Russell de un sistema lógico perfecto. Iba a demostrar que las paradojas no eran excrecencias; que eran algo fundamental.

Gödel elogió el proyecto de Russell y Whitehead antes de enterrarlo: la lógica matemática era, según decía, «una ciencia anterior a todas las demás, que contienen las ideas y principios que se encuentran detrás de todas las ciencias».^[6.22] Los *Principia Mathematica*, aquella obra monumental, encarnaban un sistema formal que, durante su corto tiempo de vida, se había hecho tan global y tan dominante que Gödel lo denominaba en forma abreviada *PM*. Por *PM* entendía el sistema, en contraposición al libro. En los *PM* habían sido contenidas las matemáticas, igual que un barco metido en una botella, que ya no es zarandeado ni volcado por las enormes y tempestuosas olas. En 1930, cuando los matemáticos demostraban algo, lo hacían según los *PM*. En los *PM*, como decía Gödel, «puede uno demostrar cualquier teorema utilizando nada más que unas cuantas fórmulas mecánicas».^[6.23]

Cualquier teorema: pues el sistema era o pretendía ser absoluto. Reglas *mecánicas*: pues la lógica actuaba de forma inexorable, sin dejar sitio para las diversas interpretaciones humanas. Sus símbolos estaban vacíos de significado. Todo el mundo podía verificar una demostración paso a paso, siguiendo las reglas, sin entenderla. Llamar mecánica a esa cualidad era evocar los sueños de Charles Babbage y de Ada Lovelace, máquinas que se movían pesadamente por medio de números y números que podían sustituir a cualquier cosa.

En la cultura abocada al fracaso de la Viena de 1930, escuchando a sus nuevos amigos discutir acerca de la Nueva Lógica, con su actitud reticente, sus ojos magnificados por las gafas redondas de montura negra, el joven Gödel, con apenas veinticuatro años, creía en la perfección de la botella que eran los *PM*, pero dudaba de que las matemáticas cupieran verdaderamente en ellos. Aquel

joven frágil convirtió sus dudas en un descubrimiento tan grande como terrible. Vio que en los *PM* —y en cualquier sistema coherente de lógica— debían de acechar monstruos de una especie todavía ni siquiera concebida: afirmaciones que no pueden ser demostradas nunca, pero que tampoco pueden ser refutadas. Esto es, debía de haber *verdades* que no pueden ser demostradas. Y él iba a demostrarlo.

Llevó a cabo esta tarea con un rigor férreo disfrazado de ejercicio de prestidigitación. Empleó las reglas formales de los *PM* y, al emplearlas, las abordó también matemáticamente, esto es las contempló desde fuera. Según su explicación, todos los símbolos de los *PM* —números, operaciones aritméticas, conectores lógicos, y puntuación— constituían un alfabeto limitado. Todas las afirmaciones o fórmulas de los *PM* estaban escritas en ese alfabeto. Del mismo modo, cada demostración comprendía una secuencia finita de fórmulas, simplemente un pasaje más largo escrito en ese mismo alfabeto. Ahí es donde entraba la metamatemática. Metamatemáticamente, decía Gödel, un signo es tan bueno como cualquier otro, y la elección de un determinado alfabeto es arbitraria. Se podían usar los números y grifos convencionales (los de la aritmética: +, −, =, ×; o los de la lógica: ¬, ∨, ⊃, ∃), o se podían usar letras, o puntos y rayas: era una cuestión de codificación, de pasar de un conjunto de símbolos a otro.

Gödel proponía usar números para todos sus signos. Los números eran su alfabeto. Y como los números pueden combinarse usando la aritmética, cualquier secuencia de números equivale a un solo número (posiblemente muy grande). Así pues, cada afirmación, cada fórmula de los *PM* puede expresarse como un solo número, y lo mismo ocurre con cada demostración. Gödel desarrollaba un riguroso esquema para efectuar la codificación: un algoritmo, algo mecánico, simples reglas que solo había que seguir, no información necesaria. Funciona hacia delante y hacia atrás: cualquier fórmula dada, siguiendo las reglas, genera un número, y cualquier número dado, siguiendo las reglas, produce la correspondiente fórmula.

Sin embargo, no todos los números se traducen en una fórmula correcta. Algunos números se decodifican en un galimatías o fórmulas que son falsas según las reglas del sistema. La serie de símbolos «0 0 0 = = =» no constituye en absoluto ninguna fórmula, aunque se traduzca en un número. La afirmación «= =

1» es una fórmula reconocible, pero es falsa. La fórmula « $0 + x = x + 0$ » es una fórmula reconocible, y además es demostrable.

Esta última cualidad —la propiedad de *ser comprobable según los PM*— no significaba ser expresable en el lenguaje de los *PM*. Se trata, al parecer, de una afirmación proveniente de fuera del sistema, una afirmación metamatemática. Pero la codificación de Gödel la repescaba. En el marco construido por él, los números naturales daban lugar a una doble vida, como números y también como afirmaciones. Una afirmación podía declarar que un determinado número es *par*, o *primo*, o un *cuadrado perfecto*, y una afirmación puede declarar también que un determinado número es una *fórmula demostrable*. Dado el número 1.044.045.317.700, por ejemplo, pueden hacerse varias afirmaciones y comprobar su verdad o su falsedad: es un número par, no es primo, no es un cuadrado perfecto, es mayor que cinco, es divisible por 121, y (cuando es decodificado según las reglas oficiales) es una fórmula demostrable.

Gödel expuso todo esto en un pequeño artículo publicado en 1931. Hacer que su demostración fuera irrefutable requería una lógica compleja, pero el argumento básico era sencillo y elegante. Gödel demostraba cómo construir una fórmula que decía *Un determinado número x no es demostrable*. Era muy fácil: había infinitas fórmulas como esta. Luego demostraba que, al menos en algunos casos, el número x podía representar esa misma fórmula. Era ni más ni menos que el callejón sin salida de la auto-referencia que Russell había intentado prohibir en las reglas de los *PM*:

Esta afirmación no es demostrable

Y ahora Gödel demostraba que esas afirmaciones debían existir de todas formas. El Mentiroso volvía y no podía ser metido en el calabozo cambiando las reglas. Como aclaraba Gödel (en una de las notas a pie de página más cargadas de significado de la historia),

Contrariamente a las apariencias, semejante proposición no comporta ninguna circularidad imperfecta, pues solo afirma que determinada fórmula bien definida [...] es indemostrable. Solo posteriormente (y como aquel que dice por casualidad) resulta que esta fórmula es precisamente aquella mediante la cual se expresa la propia proposición. ^[6.24]

En los *PM* y en cualquier sistema lógico coherente capaz de una aritmética elemental, tiene que haber siempre esas afirmaciones odiosas, verdaderas, pero indemostrables. De ese modo Gödel demostraba que un sistema formal coherente tenía que ser incompleto: no podía existir ningún sistema completo y coherente.

Las paradojas habían vuelto, y no eran meras rarezas. Ahora daban en el corazón mismo de la empresa. Como luego diría Gödel, era un «hecho asombroso» [...] «que nuestras intuiciones lógicas (esto es, las intuiciones relacionadas con nociones tales como la verdad, el concepto, el ser, la clase, etc.) sean contradictorias en sí mismas».^[6.25] Como dice Douglas Hofstadter, era un «rayo repentino procedente del cielo más sereno», cuya fuerza no provenía del edificio que fulmina, sino de la lección que contiene acerca de los números, acerca del simbolismo, y acerca de la codificación:

La conclusión a la que llegaba Gödel no venía de una debilidad de los *PM*, sino de uno de sus puntos fuertes. Dicha fuerza es que los números son tan flexibles o «camaleónicos» que sus patrones pueden remedar los patrones de razonamiento. La *fuerza expresiva* de los *PM* es lo que genera su falta de completitud.^[6.26]

El lenguaje universal, buscado durante tanto tiempo, la *characteristica universalis* que Leibniz había pretendido inventar, había existido siempre en los números. Los números podían codificar todo el razonamiento. Podían representar cualquier forma de conocimiento.

La primera mención pública que hizo Gödel de su descubrimiento el tercer y último día del congreso de filosofía celebrado en Königsberg en 1930, no obtuvo respuesta; parece que solo la escuchó una persona, un húngaro llamado Neumann János. Este joven matemático estaba a punto de trasladarse a los Estados Unidos, donde lo llamarían y así sería llamado hasta el final de su vida, John von Neumann. Comprendió de inmediato la trascendencia de lo que había dicho Gödel; su tesis primero lo dejó aturdido, pero luego la estudió y quedó convencido. En cuanto el artículo de Gödel fue publicado, von Neumann lo presentó en el coloquio de matemáticas de Princeton. La incompletitud era real. Significaba que no podría demostrarse nunca que las matemáticas estaban libres de contradicción en sí mismas. Y «lo importante», decía Neumann, «es que no se

trata de un principio filosófico ni de una actitud intelectual plausible, sino del resultado de una comprobación matemática rigurosa de un tipo sumamente sofisticado».^[6.27] O se creía en las matemáticas o no se creía.

Bertrand Russell (que por supuesto *creía* en ellas) había pasado a una modalidad más suave de filosofía. Mucho después, ya de viejo, admitiría que Gödel lo había inquietado: «Me alegré de no estar trabajando ya en la lógica matemática. Si un conjunto dado de axiomas lleva a una contradicción, es evidente que al menos uno de esos axiomas tiene que ser falso».^[6.28] Por otra parte, el filósofo más famoso de Viena, Ludwig Wittgenstein (que fundamentalmente *no creía* en ellas), despreció el teorema de la incompletitud tachándolo de ser una sarta de trampas (*Kunststücken*) y se jactó de que, en vez de intentar refutarlo, simplemente pasaría de largo ante él:

Las matemáticas no pueden ser incompletas; del mismo modo que tampoco puede ser incompleto un *sentido*. Todo lo que yo pueda comprender, debe ser comprendido por completo.^[6.29]

La réplica de Gödel se ocuparía de los dos. «Russell evidentemente malinterpreta mis resultados; no obstante, lo hace de una manera muy interesante», escribiría. «En cambio Wittgenstein [...] propone una mala interpretación completamente trivial y carente de interés.»^[6.30]

En 1933, el recién creado Institute for Advanced Study, entre cuyos primeros miembros estaban John von Neumann y Albert Einstein, invitó a Gödel a pasar un año en Princeton. El matemático checo cruzaría el Atlántico en varias ocasiones más esa misma década, mientras el fascismo crecía y la breve gloria de Viena empezaba a desvanecerse. Gödel, ignorante de la política y lleno de ingenuidad ante la historia, sufrió varios ataques de depresión y episodios de hipocondría que lo obligaron a ingresar en distintas casas de reposo. Princeton lo llamaba pero él vacilaba. Seguía en la capital austriaca en 1938 cuando se produjo el *Anschluss* y dejó de existir el Círculo de Viena, cuyos miembros fueron asesinados o marcharon al exilio, e incluso en 1939, cuando el ejército de Hitler ocupó su Checoslovaquia natal. No era judío, pero los matemáticos estaban suficientemente *verjudet*. Finalmente logró abandonar el país en enero de 1940 a través del Transiberiano, Japón y desde allí en barco hasta San

Francisco. Su nombre fue recodificado «K. Goedel» por la compañía telefónica cuando llegó a Princeton, esta vez para quedarse.^[6.31]

Claude Shannon también llegó al Institute for Advanced Study para hacer un curso postdoctorado. Lo encontró un lugar solitario, pues ocupaba un edificio nuevo de ladrillo rojo con una torre del reloj y una cúpula, rodeado de olmos, en lo que había sido una granja situada a menos de dos kilómetros de Princeton University. El primero de sus alrededores de quince profesores fue Einstein, cuyo despacho estaba en la parte trasera del primer piso; Shannon rara vez puso en él sus ojos. Gödel, que había llegado en el mes de marzo, casi no hablaba con nadie más que con Einstein. Nominalmente, el supervisor de Shannon era Hermann Weyl, otro exiliado alemán, el matemático más formidable y teórico de la nueva mecánica cuántica. Weyl estaba vagamente interesado en la tesis de Shannon sobre genética —«sus problemas de biomatemática»—,^[6.32] pero pensaba que este podía encontrar terreno común en el otro gran joven matemático del instituto, Von Neumann. Shannon pasaba la mayor parte del tiempo de mal humor en su habitación de Palmer Square. Su esposa, de solo veintiún años, que había dejado Radcliffe para estar con él, encontraba cada vez más deprimente quedarse en casa mientras Claude tocaba el clarinete como acompañamiento al disco de Bix Beiderbecke que sonaba en el fonógrafo. Norma pensó que estaba deprimido y le aconsejó visitar a un psiquiatra. Conocer a Einstein estaba muy bien, pero el entusiasmo por la novedad pasó pronto. Su matrimonio estaba acabado y a finales de año se marchó.

Tampoco Shannon podía permanecer en Princeton. Quería investigar la transmisión de la información, un concepto poco definido y, sin embargo, más pragmático que la excitante física teórica que dominaba el programa del instituto. Además, estaba a punto de empezar la guerra. Los programas de investigación estaban cambiando en todas partes. Vannevar Bush dirigía ahora el Comité de Investigación de la Defensa Nacional (NDRC por sus siglas en inglés), que asignó a Shannon el «Proyecto 7»:^[6.33] las matemáticas de los mecanismos de control de fuego de los cañones antiaéreos, «la tarea», según informaba escuetamente el NDRC, «de aplicar las debidas correcciones al control de fuego del cañón para que la bomba y el blanco lleguen a la misma posición al mismo tiempo».^[6.34] Los aviones habían hecho de pronto que casi toda la matemática usada en balística quedara obsoleta: por primera vez, los

blancos se movían a velocidades no muy inferiores a las de los propios misiles. El problema era complejo y trascendental, en los barcos y en tierra. Londres estaba organizando baterías de cañones pesados que disparaban bombas de 3,7 pulgadas. Los proyectiles lanzados contra un avión moviéndose a toda velocidad necesitaban o mucha intuición y mucha suerte o una gran cantidad de cálculo implícito por medio de engranajes, conexiones y servomecanismos. Shannon analizó los problemas físicos y también los de cálculo: la maquinaria tenía que rastrear trayectorias muy rápidas en tres dimensiones, con palancas y engranajes controlados por buscadores de velocidad e integradores. Un cañón antiaéreo por sí solo se comportaba como un sistema dinámico, sometido a «retrocesos» y oscilaciones que podían ser previsibles o no. (Cuando las ecuaciones diferenciales eran no lineales, Shannon avanzaba poco y lo sabía).

Había pasado dos veranos trabajando para los Laboratorios Telefónicos Bell en Nueva York; el departamento de matemáticas de este centro estaba también ocupándose del proyecto de control de fuego y pidió a Shannon que se uniera a su equipo. Era un trabajo para el que el Analizador Diferencial lo había preparado bien. Un cañón antiaéreo automatizado era ya un computador analógico: tenía que convertir lo que de hecho eran ecuaciones diferenciales de segundo orden en movimiento mecánico; tenía que aceptar los datos procedentes de las observaciones del localizador de velocidad o nuevo radar experimental, y tenía que pulir y filtrar esos datos para compensar los errores.

En los Laboratorios Bell parecían estar familiarizados con esta última parte del problema. Recordaba a una dificultad que atormentaba a las comunicaciones telefónicas. Los datos ruidosos parecían estáticos en la línea. «Existe una analogía evidente», comunicaban Shannon y sus colegas, «entre el problema de pulir los datos que hay que eliminar o reducir el efecto del rastreo de errores y el problema de separar una señal de la interferencia de ruidos en el sistema de comunicaciones».^[6.35] Los datos constituían una señal; el problema era en su totalidad «un caso especial de transmisión, manipulación y utilización de la información». Su especialidad en los Laboratorios Bell.

Por innovador que pudiera haber sido el telégrafo, por milagrosa que pareciera ahora la radio sin hilos, la comunicación eléctrica era ahora

fundamentalmente el teléfono. El «teléfono parlante eléctrico» apareció por primera vez en los Estados Unidos con el establecimiento de unos pocos circuitos experimentales en la década de 1870. Al empezar el nuevo siglo, la industria telefónica superaba a la del telégrafo por todos conceptos —número de mensajes, kilómetros de cableado, capital invertido— y el uso del teléfono se doblaba cada pocos años. Los únicos requisitos que se necesitaban para su manejo eran saber hablar y oír: todo el mundo podía utilizar el teléfono: ni escritura, ni códigos, ni teclados. Todo el mundo respondía al sonido de la voz humana; comunicaba no solo palabras, sino también sentimientos.

Las ventajas eran obvias, aunque no para todo el mundo. Elisha Gray, un hombre de la industria del telégrafo que a punto estuvo de superar a Alexander Graham Bell como inventor del teléfono, dijo a su asesor de patentes en 1875 que su trabajo no valía mucho la pena: «Parece que Bell está gastando todas sus energías en [el] telégrafo parlante. Aunque científicamente sea muy interesante, en la actualidad no tiene valor comercial, pues pueden hacer mucho negocio con una línea por medio de métodos ya en uso».^[6.36] Tres años después, cuando N. Vail abandonó el Departamento de Correos para convertirse en el primer director general (y único empleado asalariado) de la nueva Compañía Telefónica Bell, el vicedirector general de correos escribió lleno de irritación: «¡Apenas puedo creer que un hombre tan cuerdo como usted [...] lo tire todo por la borda por esa maldita idea yankee (un cable con dos cuernos de novillo de Texas pegados a ambos extremos, con un dispositivo para que el artilugio muja como una ternera) llamada teléfono!»^[6.37] Al año siguiente, en Inglaterra, el principal ingeniero del General Post Office, William Preece, informaba al Parlamento en los siguientes términos: «Me imagino que las descripciones que tenemos de su uso en América son un poco exageradas, aunque en América se dan unas condiciones que hacen más necesario que aquí el uso de semejantes instrumentos. Aquí tenemos una sobreabundancia de mensajeros, botones y cosas por el estilo [...] En mi oficina tengo uno [teléfono], pero más para enseñarlo que para otra cosa. Si quiero mandar un mensaje, utilizo un sensor o recurro a un chico para que vaya a buscarlo».^[6.38]

Uno de los motivos de estos errores de apreciación es la habitual falta de imaginación ante una tecnología radicalmente nueva. El telégrafo estaba a la vista de todo el mundo, pero no se sacó de él la debida lección y no se aplicó a

este nuevo invento. El telégrafo exigía el conocimiento de la lectura y la escritura; el teléfono daba cabida a la oralidad. Un mensaje enviado por telégrafo tenía primero que ser escrito, codificado y tecleado por un intermediario instruido. Para usar el teléfono lo único que había que hacer era hablar. Hasta un niño podía emplearlo. Por esa misma razón a muchos les parecía un juguete. De hecho se asemejaba a un juguete muy conocido de todos, hecho con unos cilindros de plomo y una cuerda. El teléfono no dejaba huella permanente. *El Teléfono* no tuvo éxito como nombre de periódico. Los hombres de negocios pensaron que era poco serio. Mientras que el telégrafo tenía que ver con hechos y con números, el teléfono apelaba a las emociones.

La nueva compañía de Bell no tuvo ninguna dificultad en convertir este rasgo en una ventaja comercial. A sus promotores les gustaba citar a Plinio: «La voz viva es lo que cautiva al alma», y a Thomas Middleton: «¡Cuán dulce suena la voz de una mujer buena!». Por otra parte, suscitaba una gran curiosidad la idea de captar y cosificar la voz (también acababa de hacer su aparición el fonógrafo). Como decía un comentarista: «Por mucho que cierre un hombre sus puertas y sus ventanas, que tape herméticamente sus cerraduras y rejillas con toallas y mantas, diga lo que diga a sí mismo a su acompañante, se le oirá».^[6.39] Hasta aquel momento las voces habían sido sobre todo una cosa privada.

El nuevo artefacto tenía que ser explicado, y en general las aclaraciones empezaban con una comparación con el telégrafo. Había un emisor y un receptor, y unos cables que los conectaban, y *algo* que se transportaba a través del cable en forma de electricidad. En el caso del teléfono ese algo era el sonido, convertido sencillamente de ondas de presión en el aire en ondas de corriente eléctrica. Tenía una ventaja que estaba muy clara: el teléfono iba a ser útil con toda seguridad para los músicos. El propio Bell, en su gira a lo largo y ancho del país como productor del espectáculo de su nueva tecnología, fomentó esta manera de pensar, haciendo demostraciones en salas de concierto, en las que orquestas y coros interpretaban los himnos *America* y *Auld Lang Syne* ante su aparato. Animaba a la gente a pensar que el teléfono era una emisora con la que se podía enviar música y sermones a largas distancias, llevando la sala de concierto y la iglesia al cuarto de estar de las casas. La mayoría de los periódicos y los comentaristas hicieron lo mismo. Eso es lo que resulta de analizar una tecnología en abstracto. Tan pronto como la gente echó mano al teléfono, supo

qué hacer con él. Se puso a hablar.

En una conferencia pronunciada en Cambridge, el físico James Clerk Maxwell hizo una descripción científica de la conversación telefónica: «El locutor habla al transmisor en un extremo de la línea, y al otro extremo de la línea el oyente pega su oído al receptor y escucha lo que le dice el locutor. El proceso en sus dos extremos es tan exactamente similar al anticuado método de hablar y escuchar que no hace falta ninguna práctica preparatoria por parte de ninguno de los operadores».^[6.40] Hasta él se había dado cuenta de la facilidad de su uso.

Así, en 1880, cuatro años después de que Bell pronunciara las palabras: «Mr. Watson, venga aquí, deseo verlo», y tres años después de que fuera alquilado por veinte dólares el primer par de teléfonos, se usaban ya en los Estados Unidos más de sesenta mil. Los primeros clientes compraron pares de teléfonos para establecer comunicación entre un punto y otro: entre una fábrica y sus oficinas, por ejemplo. La reina Victoria instaló uno en el castillo de Windsor y otro en el palacio de Buckingham (fabricado en marfil, regalo del propio Bell). La topología cambió cuando el número de aparatos que podían alcanzar otros aparatos traspasó un umbral crítico, y eso sucedió sorprendentemente pronto. Entonces surgieron las redes colectivas, y sus múltiples conexiones se llevaban a cabo por medio de un nuevo aparato llamado centralita.

La fase inicial de ignorancia y escepticismo pasó en un abrir y cerrar de ojos. La segunda fase de diversión y pasatiempo tampoco duró mucho. El mundo de los negocios olvidó rápidamente sus recelos en torno a la seriedad del invento. Ahora cualquiera podía ser un profeta del teléfono —algunos de esos mismos vaticinios se habían escuchado ya a propósito del telégrafo—, pero los comentarios más clarividentes vendrían de los que fijaron su atención ante todo en su potencia exponencial de interconexión. La revista *Scientific America* valoraba ya en 1880 «El Futuro del Teléfono» y subrayaba la formación de «pequeños cúmulos de comunicantes telefónicos». Cuanto más grande fuera la red y más diversificados estuvieran sus intereses, mayor sería su potencial.

Lo que el telégrafo tardó años en conseguir, el teléfono lo ha hecho en meses. Un año fue un juguete científico, con infinitas posibilidades de uso práctico; al siguiente era la base de un sistema de comunicación en rapidísima expansión, el más complejo y conveniente que ha conocido el mundo [...] Pronto será la regla y

no la excepción que los centros de negocios, y de hecho también las moradas de la gente acaudalada, estén interconectadas a través del teléfono, no solo en nuestras ciudades, sino también en todas las regiones, incluso las más alejadas. El resultado puede ser ni más ni menos que una nueva organización de la sociedad, un estado de cosas en el que cada individuo, por aislado que esté, llame a otro individuo de la comunidad, lo que traerá el ahorro de un sinfín de complicaciones sociales y comerciales, de mucho ir y venir innecesario, de decepciones, demoras y una hueste innúmera de molestias y disgustos grandes y pequeños.

Está muy cerca el tiempo en el que los miembros dispersos de las comunidades civilizadas estén tan estrechamente unidos, por lo que a la comunicación telefónica instantánea se refiere, como lo están hoy día por el sistema nervioso los diversos miembros del cuerpo.^[6.41]

Los miembros dispersos que usaban el teléfono ascendían a medio millón en 1890; y en 1914 eran diez millones. Se pensaba ya, y con razón, que el teléfono era responsable del rápido progreso de la industria. Y no era ni mucho menos una exageración. Las áreas que dependían de la «comunicación instantánea a través del espacio» registradas por el Departamento de Comercio de los Estados Unidos en 1907 eran: «La agricultura, la minería, el comercio, la manufactura, los transportes, y de hecho todas las ramas de la producción y la distribución de recursos naturales y artificiales».^[6.42] Por no hablar de «zapateros, limpiadores de paños, e incluso lavanderas». En otras palabras, todos los dientes del engranaje de la economía. «La existencia del tráfico telefónico es esencialmente un indicador de que se ahorra tiempo», comentaba el departamento. Observaba asimismo cambios en la estructura de la vida y de la sociedad que parecerían todavía nuevos un siglo después: «Los últimos años han sido testigos de una extensión tal de las líneas telefónicas por los distintos centros de veraneo del país que para los hombres de negocios es ahora posible abandonar sus despachos varios días seguidos y seguir directamente en contacto con ellos». En 1908 John J. Carty, que fue el primer director de los Laboratorios Bell, ofrecía un análisis basado en la información para demostrar hasta qué punto había configurado el teléfono la silueta de Nueva York, sosteniendo que el teléfono había hecho posible la existencia de los rascacielos tanto como los ascensores.

Puede que parezca ridículo decir que Bell y sus sucesores han sido los padres de la arquitectura comercial moderna del rascacielos. Pero esperen ustedes un

minuto. Tomemos el edificio Singer, el Flatiron, el Broad Exchange, el Trinity, o cualquiera de los gigantescos edificios de oficinas. ¿Cuántos mensajes suponen usted que van y vienen de esos edificios cada día? Supongamos que no hubiera teléfono y que cada mensaje tuviera que ser llevado por un mensajero personal. ¿Cuánto sitio creen ustedes que los ascensores necesarios para tanto ir y venir iban a dejar disponible para las oficinas? Semejantes estructuras serían una imposibilidad económica.^[6.43]

Para facilitar la rápida expansión de esa extraordinaria red, el teléfono requería nuevas tecnologías y una ciencia nueva. En general de dos tipos. Una tenía que ver con la electricidad propiamente dicha: medición de las cantidades eléctricas; control de la onda electromagnética, tal como se concebía en ese momento, la modulación de su amplitud y su frecuencia. Maxwell había establecido allá por 1860 que las pulsaciones eléctricas, el magnetismo y la propia luz eran manifestaciones de una misma fuerza: «Afectaciones de la misma sustancia»,^[6.44] y en cuanto a la luz no era sino un caso más de «una perturbación electromagnética propagada a través del campo según las leyes del electromagnetismo». Esas eran las leyes que tenían ahora que aplicar los ingenieros eléctricos, unificando el teléfono y la radio entre otras tecnologías. Incluso el telégrafo empleaba un tipo muy simple de modulación de amplitud, en el que solo importaban dos valores, un máximo para «encendido» y un mínimo para «apagado». Transmitir el sonido requería una corriente mucho más fuerte, controlada de manera mucho más delicada. Los ingenieros tenían que entender la realimentación: el acople de la salida de un amplificador de potencia, como el micrófono de un teléfono, con su entrada. Tuvieron que diseñar repetidores utilizando tubos de vacío para transportar la corriente eléctrica a lo largo de grandes distancias, lo que posibilitó la primera línea transcontinental en 1914, entre Nueva York y San Francisco, casi cinco mil quinientos kilómetros de cable colgado de ciento treinta mil palos. Los ingenieros descubrieron también cómo modular algunas corrientes para combinarlas en un solo canal —multiplexación— sin perder su respectiva identidad. En 1918 pudieron meter cuatro conversaciones en un solo par de cables. Pero no eran *corrientes* que conservaran su identidad. Antes de que los ingenieros se dieran cuenta de ello, estaban pensando ya en la transmisión de una *señal*, una entidad abstracta, distinta de las ondas eléctricas en las que iba incorporada.

Un segundo tipo de ciencia, menos definida, era la que tenía que ver con la organización de conexiones: conmutación, numeración y lógica. Esta rama procedía de la idea que había tenido originalmente Bell, allá por 1877, de que no era preciso vender los teléfonos por parejas; de que cada teléfono aislado podía ser conectado a otros muchos teléfonos, no mediante cables directos, sino a través de un «intercambiador» central. George W. Coy, directivo de una empresa de telegrafía de New Haven, Connecticut, construyó la primera «centralita», con sus «clavijas» y «conmutadores», hechos con pernos de carruajes y alambres de polisones viejos. La patentó y la vendió como la primera «operadora» telefónica del mundo. Con tanto abrir y cerrar conexiones, los interruptores se gastaban enseguida. Y no tardó en introducirse una mejora, que fue una plancha de cinco centímetros provista de bisagras, parecida a una navaja: el «conmutador de navaja». En enero de 1878, los conmutadores de Coy podían mantener dos conversaciones simultáneamente entre cualquiera de los veintiún clientes de la centralita. En el mes de febrero, Coy publicó una lista de suscriptores: eran él y unos cuantos amigos; varios médicos y dentistas; la oficina de correos, la comisaría de policía, y el club mercantil; así como algunas carnicerías y pescaderías. Ha sido llamada la primera guía telefónica del mundo, pero en realidad no lo era: tenía solo una página, no estaba alfabetizada, y no había números asociados con los nombres. El número de teléfono estaba todavía por inventar.

Esa innovación llegó al año siguiente en Lowell, Massachusetts, donde a finales de 1879 cuatro operadores llevaban las conexiones de doscientos suscriptores gritándose unos a otros de un extremo a otro de la habitación donde estaba instalada la centralita. Se desencadenó una epidemia de sarampión, y el doctor Moses Greeley Parker manifestó su temor de que si los operadores enfermaban, resultara muy difícil reemplazarlos. Sugirió entonces la posibilidad de identificar cada teléfono por un número. Y propuso también hacer una lista de esos números en un directorio alfabético de suscriptores. Estas ideas no podían ser patentadas y se plantearon también en otras muchas centralitas de todo el país, donde el auge de las redes estaba creando montones de datos que necesitaban organización. Las guías telefónicas no tardaron en constituir los listados y directorios de la población humana más completos que se habían llevado a cabo nunca. (Pronto se convirtieron en los libros más voluminosos y

densos del mundo: la guía de Londres tenía tres tomos; la de Chicago ocupaba un volumen de dos mil seiscientas páginas; y parecía que eran un elemento permanente e indispensable de la ecología de la información del mundo hasta que, de repente, dejaron de serlo. De hecho, quedaron obsoletas desde comienzos del siglo XXI. Las compañías telefónicas estadounidenses las han retirado definitivamente en 2010; en Nueva York se calcula que el fin del suministro automático de guías de teléfonos ha supuesto un ahorro de cinco mil toneladas de papel).

Al principio, a los usuarios les molestó la impersonalidad de los números de teléfono, y los ingenieros dudaron que la gente fuera capaz de recordar un número de más de cuatro o cinco dígitos. Finalmente la Compañía Bell tuvo que insistir. Los primeros operadores telefónicos fueron chicos adolescentes, contratados a bajo precio entre los repartidores de telégrafos, pero las centrales de todo el país enseguida descubrieron que los chicos eran poco serios, les gustaba demasiado hacer el payaso y gastar bromas, y era más habitual encontrarlos peleándose en el suelo que sentados en su banqueta realizando el trabajo preciso y repetitivo propio del operador de una centralita.^[6.45] Había una nueva mano de obra barata disponible, y ya en 1881 casi todos los operadores telefónicos eran mujeres. En Cincinnati, por ejemplo, W. H. Eckert comunicaba que había contratado a sesenta y seis «señoritas» que eran «muy superiores» a los chicos: «Son más constantes, no beben cerveza y están siempre disponibles».^[6.46] No le hacía falta añadir que podía pagar a las mujeres tan poco dinero como a un adolescente o menos. El trabajo en sí era todo un reto y no tardaría en requerir una instrucción. Las operadoras tenían que ser rápidas a la hora de distinguir las numerosas voces y acentos diferentes, tenían que mantener un equilibrio cortés ante la impaciencia y falta de educación, al tiempo que debían realizar largas horas de ejercicio atlético con la parte superior del cuerpo, llevando unos cascos auriculares a modo de arnés. Algunos hombres pensaban que era bueno para ellas. «El acto de levantar los brazos por encima de la cabeza y a derecha e izquierda, les desarrolla el pecho y los brazos», decía la *Every Woman's Encyclopaedia*, «y convierte a las chicas delgadas y esmirriadas en mujeres fuertes. No hay chicas con pinta de anémicas o enfermizas en las salas de operadoras».^[6.47] Junto con otra nueva tecnología, la máquina de escribir, la centralita telefónica catalizó la entrada de la mujer en el mercado laboral de

cuello blanco, pero ni siquiera aquellos batallones de operadores humanos podían sostener una red de esas proporciones en constante aumento. La conmutación tendría que llevarse a cabo automáticamente.

Ello suponía hacer una conexión mecánica, reteniendo no solo el sonido de la voz de las personas que llamaban, sino también un número: identificar a una persona o por lo menos otro teléfono. El reto que planteaba convertir un número en una forma eléctrica requería otra vez ingenio: primero se intentó con botones que había que apretar, luego con un dial rotatorio de aspecto rarísimo, con diez posiciones de los dedos para los decimales, que enviaban vibraciones a lo largo de la línea. Luego las vibraciones codificadas servían como agente de control en la centralita, donde otro mecanismo seleccionaba el circuito correcto y establecía la conexión. En general todo ello comportaba un grado de complejidad desconocido hasta ese momento en la traducción de la persona a la máquina, y del número al sistema de circuitos. El sentido de todo ello nunca llegó a perderlo la compañía, a la que le gustaba hablar de «cerebros eléctricos» para promocionar sus interruptores automáticos. Tras tomar del telégrafo el relevador electromecánico —usando un circuito para controlar otro—, las compañías telefónicas redujeron sus dimensiones y su peso a menos de cuatro onzas y ahora fabricaban varios millones al año.

«El teléfono sigue siendo el colmo de las maravillas eléctricas», escribía un historiador en 1910: concretamente un estudioso especializado ya en historia de la telefonía. «No hay nada que haga tanto con tan poca energía. No hay nada que esté más envuelto en lo desconocido.»^[6.48] En la ciudad de Nueva York estaban registrados varios centenares de miles de usuarios del teléfono, y la *Scribner's Magazine* ponía de relieve este hecho tan asombroso: «De esa enorme cantidad de personas, dos pueden ponerse en comunicación una con otra cada cinco segundos. Hasta tal punto la ingeniería se ha adecuado al paso de las necesidades del público».^[6.49] Para hacer las conexiones, la centralita había acabado convirtiéndose en «un monstruo de dos millones de piezas soldadas, seis mil quinientos kilómetros de cable y quince mil reflectores de señales».^[6.50] En 1925, cuando fueron organizados en los Laboratorios Bell varios grupos para la investigación de la telefonía, un «buscador de líneas» mecánico con capacidad para cuatrocientas líneas sustituyó a los conmutadores rotativos electromecánicos de veintidós posiciones. La American Telephone & Telegraph

Company estaba consolidando su monopolio. Los ingenieros se esforzaban por minimizar el tiempo de búsqueda. Al principio las llamadas de larga distancia necesitaban un segundo operador u operador de «peaje» y luego había que esperar a que este volviera a llamar; pronto la interconexión de las centrales locales permitiría el marcado automático. Las complejidades se multiplicaban. Los Laboratorios Bell necesitaban matemáticos.

Lo que empezó siendo un Departamento de Asesoría Matemática acabó convirtiéndose en un centro de matemática práctica sin igual. No era como las prestigiosas ciudadelas de Harvard y Princeton. Para el mundo académico resultaba casi invisible. A su primer director, Thomas C. Fry, le encantaba la tensión entre la teoría y la práctica: el choque de culturas. «Para un matemático, un argumento o es perfecto en todos sus detalles o está mal», escribía en 1941. «A eso lo llama “pensamiento riguroso”. Un ingeniero lo llama “entretenerse en nimiedades”».^[6.51]

El matemático tiende además a idealizar cualquier situación a la que se enfrenta. Sus gases son «ideales», sus conductores «perfectos», sus superficies «lisas». A eso lo llama «ceñirse a lo esencial». Es probable que el ingeniero diga que es «ignorar los hechos».

En otras palabras, los matemáticos y los ingenieros no podían prescindir unos de otros. Cualquier ingeniero podía ahora abordar los análisis básicos de ondas tratadas como señales sinusoidales. Pero surgieron nuevas dificultades a la hora de concebir la acción de las redes, y se formularon teoremas de redes para abordarlas matemáticamente. Los matemáticos aplicaron la teoría de colas a los conflictos de uso; desarrollaron gráficas y árboles para solucionar cuestiones planteadas por las conferencias y líneas interurbanas; y emplearon el análisis combinatorio para resolver los problemas de probabilidad del teléfono.

Por otro lado estaba el ruido. A los teóricos (por ejemplo a Alexander Graham Bell) al principio no les pareció que fuera ningún problema. Sencillamente existía, inundando la línea: detonaciones, zumbidos, crujidos que interferían o degradaban el sonido de la voz que había entrado en el micrófono. También eran una plaga en la radio. En el mejor de los casos se quedaban como ruido de fondo y la gente casi no lo notaba; en el peor, aquella profusión de interferencias espoleaba la imaginación del cliente:

Se oían gargajos y borbotos, sacudidas y chirridos, silbidos y gritos. Se oía murmullo de hojas, croar de ranas, pitidos de vapor, y batir de alas de pájaros. Se oía el chasquido de los cables del telégrafo, fragmentos de conversaciones de otros teléfonos, curiosos chillidos que no se parecían a nada conocido [...] La noche era más ruidosa que el día, y a la hora espectral de la media noche, nadie sabe por qué extraña razón, la confusión llegaba a su punto culminante. [6.52]

Pero los ingenieros podían ahora *ver* el ruido en sus osciloscopios, interfiriendo y degradando sus formas de onda limpias, y naturalmente querían medirlo, aunque tuviera mucho de quijotesco eso de medir un ruido tan aleatorio y espectral. En efecto, había una forma de hacerlo y Albert Einstein había demostrado cuál era.

En 1905, el mejor año de su vida, Einstein publicó un artículo sobre el movimiento browniano, el movimiento aleatorio de algunas partículas microscópicas que se hallan suspendidas en un medio fluido. Antony van Leeuwenhoek lo había descubierto con su microscopio primitivo, y el fenómeno recibió el nombre por el que es conocido Robert Brown, el botánico escocés que lo estudió cuidadosamente en 1827: primero en el polen dentro del agua, y luego en el hollín y la piedra pulverizada. Brown se convenció de que esas partículas no estaban vivas —no eran animáculos—, pero tampoco se estaban quietas. En un curioso *tour de force* matemático, Einstein explicó el fenómeno como consecuencia de la energía térmica de las moléculas, cuya existencia demostró así. Ciertas partículas visibles solo a través del microscopio son bombardeadas por el impacto de las moléculas y son lo bastante ligeras como para ser movidas aleatoriamente de acá para allá. Las fluctuaciones de las partículas, individualmente imprevisibles, expresan colectivamente las leyes de una mecánica estadística. Aunque el fluido esté en reposo y el sistema en equilibrio termodinámico, el movimiento irregular subsiste, mientras la temperatura esté por encima del cero absoluto. Por la misma razón, demostraba que la agitación térmica aleatoria debía afectar también a los electrones libres existentes en cualquier conductor eléctrico... produciendo ruido.

Los físicos no prestaron mucha atención a los aspectos eléctricos de la obra de Einstein, y hasta 1927 el ruido térmico existente en los circuitos no fue

sometido a un estudio matemático riguroso. De ello se encargaron dos suecos que trabajaban en los Laboratorios Bell. John B. Johnson fue el primero en medir lo que dedujo que era el ruido generado dentro del circuito, al no tener evidencia de que se trataba de un defecto de diseño. Luego se encargó de explicarlo Harry Nyquist, derivando fórmulas para las fluctuaciones de corriente y de voltaje en una red ideal. Nyquist era hijo de un agricultor y fabricante de zapatos, que originalmente se llamaba Lars Jonsson, pero tuvo que cambiar de nombre porque su correo llegaba siempre mezclado con el de otro Lars Jonsson. Los Nyquist emigraron a los Estados Unidos cuando Harry era un adolescente; el joven logró abrirse camino desde Dakota del Norte hasta los Laboratorios Bell a través de Yale, donde obtuvo un doctorado en física. Al parecer siempre lo atrajo el entramado general, lo que de por sí no significaba precisamente la telefonía. Ya en 1918 empezó a trabajar en un método de transmitir imágenes por cable: la «telefotografía». Su idea era montar una fotografía en un tambor rotatorio, analizarla, y generar corrientes proporcionales a la luminosidad u oscuridad de la imagen. En 1924 la compañía tenía un prototipo en funcionamiento capaz de enviar una foto de doce por dieciocho centímetros en siete minutos. Pero mientras tanto Nyquist miraba también hacia el pasado y ese mismo año, en un congreso de ingenieros eléctricos celebrado en Filadelfia, dio una charla con el modesto título de «Algunos factores que afectan a la velocidad del telégrafo».

Desde los albores de la telegrafía se había sabido que las unidades fundamentales de comunicación eran discretas: los puntos y las rayas. En la era del teléfono resultaba asimismo obvio que, por el contrario, la información útil era continua: sonidos y colores, ensombreciéndose mutuamente, fundiéndose unos con otros a lo largo de un espectro de frecuencias. Entonces ¿cuál era? Los físicos como Nyquist estudiaban las corrientes eléctricas como formas de ondas, incluso cuando transmitían señales telegráficas discretas. En aquellos momentos la mayor parte de la corriente de una línea telegráfica era despilfarrada. Según la manera de pensar de Nyquist, si esas señales continuas podían representar algo tan complejo como la voz, el mero fenómeno de la telegrafía no era más que un caso especial. Concretamente, era un caso especial de modulación de amplitud, en el que las únicas amplitudes que interesaban eran *encendido* y *apagado*. Tratando las señales telegráficas como pulsaciones con forma de ondulaciones, los ingenieros podían efectuar su transmisión y combinarlas en un solo circuito;

y podían combinarlas también con canales de voz. Lo que Nyquist quería saber eran *cantidades*: cuántos datos telegráficos, cuánta velocidad. Para responder a esa pregunta encontró una manera ingeniosa de convertir las ondas continuas en datos que fueran discretos o «digitales». El método de Nyquist consistía en muestrear las ondas a intervalos, convirtiéndolas de hecho en elementos contables.

Un circuito transmitía ondas de frecuencia muy variada: una «banda» de ondas, dirían los ingenieros. El alcance de las frecuencias —la anchura de esa banda o «ancho de banda»— servía como medida de la capacidad del circuito. Una línea telefónica podía dar cabida a frecuencias de entre unos cuatrocientos y tres mil cuatrocientos hercios, u ondas por segundo, para un ancho de banda de tres mil hercios. (Correspondería a casi todo el sonido de una orquesta, pero las notas altas del flautín serían cortadas). Nyquist deseaba exponer todo esto de la forma más general posible. Calculó una fórmula para la «velocidad de transmisión de datos (*intelligence*)». ^[6.53] Demostraba que para transmitir información a determinada velocidad un canal necesita cierto ancho de banda susceptible de ser medido. Si el ancho de banda fuera demasiado pequeño, habría que reducir la velocidad de transmisión. (Pero más tarde se comprobó que con tiempo y con ingenio incluso los mensajes complejos podían enviarse a través de un canal de ancho de banda muy pequeño: un tambor, por ejemplo, tocado con la mano, y dando notas de solo dos tonos).

El colega de Nyquist, Ralph Hartley, que había iniciado su carrera como especialista en receptores de radio, amplió esos resultados en una comunicación presentada en el verano de 1927, en un congreso internacional a orillas del lago de Como, en Italia. Hartley usaba una palabra diferente, y hablaba no de *intelligence*, sino de «información». Era una buena ocasión para poner en común las grandes ideas. Se habían reunido científicos de todo el mundo con motivo del centenario de la muerte de Alessandro Volta. Niels Bohr habló acerca de la nueva teoría cuántica y presentó por primera vez su concepto de complementariedad. Hartley ofreció a sus oyentes una teoría fundamental y una nueva serie de definiciones.

El teorema era una ampliación de la fórmula de Nyquist, y podía ser expresado en palabras: la mayor cantidad de información que puede ser transmitida en un momento dado es proporcional a la gama de frecuencia

disponible (todavía no utilizaba la expresión ancho de banda). Hartley sacaba a la luz una serie de ideas y postulados que estaban empezando a formar parte de la cultura inconsciente de la ingeniería eléctrica, y de la cultura de los Laboratorios Bell en especial. En primer lugar estaba la propia idea de información. Hartley tenía que empezar dejando las cosas claras. «Tal como se utiliza corrientemente», dijo, «información es un término muy elástico».^[6.54] Es el objeto de la comunicación, que a su vez puede ser una conversación directa, un escrito, o cualquier otra cosa. La comunicación tiene lugar por medio de símbolos: Hartley citaba, por ejemplo, «palabras» o «puntos y rayas». Los símbolos, por convención, expresan un «significado». De momento, aquello no era más que un concepto resbaladizo tras otro. Si lo que perseguía era «eliminar los factores psicológicos implicados» y establecer una medida «en términos de cantidades puramente físicas», Hartley necesitaba algo definido y contable. Y empezó por contar los símbolos (independientemente de lo que significaran). Cualquier transmisión contenía un número computable de símbolos. Cada símbolo representaba una opción; y cada una de esas opciones era seleccionada entre cierta serie de símbolos posibles —un alfabeto, por ejemplo—, y el número de posibilidades también era contable. No resulta fácil contar el número de palabras posibles, pero incluso en el lenguaje ordinario, cada palabra representa una selección entre un conjunto de posibilidades:

Por ejemplo, en la frase «Las manzanas son rojas», el primer sustantivo eliminaba cualquier otro tipo de frutas y cualquier otro objeto en general. El verbo llama la atención sobre cierta cualidad o condición de las manzanas, y la última palabra elimina cualquier otro color posible [...]

El número de símbolos disponibles en cualquier selección evidentemente varía mucho dependiendo del tipo de símbolos usados, de los comunicadores concretos y del grado de comprensión previa que exista entre ellos.^[6.55]

Hartley tenía que admitir que algunos símbolos podían transmitir más información, en el sentido *corriente* de la palabra, que otros. «Por ejemplo, la simple palabra “sí” o “no”, cuando aparece al final de una discusión prolongada, puede tener una significación extraordinariamente grande». Sus oyentes podían pensar cada uno en sus propios ejemplos. Pero la cuestión era sustraer de la ecuación el conocimiento humano. Al fin y al cabo, los telégrafos y los teléfonos

no son inteligentes.

Intuitivamente parecía claro que la cantidad de información debía ser proporcional al número de símbolos: al doble de símbolos correspondería el doble de información. Pero un punto o una raya —un símbolo de un conjunto de solo dos elementos— contienen menos información que una letra del alfabeto y mucha menos información que una palabra escogida en un diccionario de mil. Cuantos más símbolos sean posibles, más información contendrá cada selección. ¿Cuánta más? La ecuación, según la formulaba Hartley, era la siguiente:

$$H = n \log s$$

donde H es la cantidad de información, n es el número de símbolos transmitidos, y s la dimensión del alfabeto. En un sistema de puntos y rayas, s es solo 2. Un solo carácter chino contiene mucha más información que un punto o una raya de Morse; es por eso mucho más valioso. En un sistema con un símbolo para cada palabra en un diccionario de mil palabras, s sería 1.000.

La cantidad de información, sin embargo, no es proporcional a las dimensiones del alfabeto. Esa relación es logarítmica: para doblar la cantidad de información, es preciso cuadrar el tamaño del alfabeto. Hartley ilustraba este fenómeno en términos de un telégrafo impresor, una de las mezcolanzas de inventos, desde los más obsoletos a los más nuevos, que se adaptaron a los circuitos eléctricos. Esos telégrafos usaban teclados que seguían un sistema ideado en Francia por Émile Baudot. Los operadores humanos utilizaban teclados, es decir, el aparato traducía las pulsaciones de las teclas, como de costumbre, en apertura o cierre de contactos telegráficos. El código Baudot utilizaba cinco unidades para transmitir cada carácter, de modo que el número posible de caracteres era 2^5 o 32. En términos de contenido de información, cada uno de esos caracteres era cinco veces —no treinta y dos veces— tan valioso como sus unidades binarias básicas.

Mientras tanto los teléfonos enviaban la voz humana por la red en alegres ondas analógicas curvilíneas. ¿Dónde estaban en ellas los símbolos? ¿Cómo podían ser contados?

Hartley seguía a Nyquist al sostener que la línea curva continua debía concebirse como el límite aproximado por una sucesión de pasos discretos, y que esos pasos podían ser recuperados, de hecho, muestreando la forma de onda a

intervalos. De ese modo la telefonía podía someterse al mismo tratamiento telegráfico que la telegrafía. A través de un análisis rudimentario, pero convincente, demostraba que en ambos casos la cantidad total de información dependía de dos factores: el tiempo disponible para la transmisión y el ancho de banda del canal. Las grabaciones fonográficas y el cine podían ser analizados de la misma manera.

V	IV	I	II	III	V	IV	I	II	III
		A /	•				P. %	•	•
•		B 8		•	•		Q /	•	•
•		C 9	•	•	•		R -		•
•		D 0	•	•	•		S ;		•
		E 2		•	•		T !	•	•
		F &	•	•	•		U 4	•	•
•		F ¯		•	•		V '	•	•
•		G 7		•	•		W ?	•	•
•		H ¯	•	•	•		X ,		•
		I ¯		•	•		Y 3		•
•		J 6	•		•		Z :	•	•
•		K (•		•		E .	•	
•		L =	•	•	•		Erasure		
•		M)		•	•		Figure Blank		
•		N ¯	•	•	•		Letter Blank		
		O 5	•	•	•				

Letters	Figures	V	IV	I	II	III	Letters	Figures	V	IV	I	II	III
A	1			•			-	.		•			
E	2				•		X	9/	•				•
Y	3					•	S	7/	•				•
/	∕			•	•		Z	:	•				•
1	3/				•	•	W	?	•				•
U	4			•		•	T	2					•
O	5			•	•	•	V	!	•				•
							Letter Blank						
J	6	•					K	(•	•			
G	7	•			•		M)	•	•			
B	8	•				•	R	-	•	•			•
H	!	•	•	•			L	=	•	•	•		•
F	5/	•			•	•	N	£	•	•			•
C	9	•	•		•	•	Q	/	•	•			•
D	0	•	•	•	•	•	P	+	•	•			•
Figure Blank		•					Letter Blank						

Código Baudot.

Esos extraños artículos de Nyquist y Hartley no atrajeron de momento mucha atención. No eran muy adecuados para ninguna revista prestigiosa de matemáticas o física, pero los Laboratorios Bell tenían la suya, *The Bell System Technical Journal*, y Claude Shannon los leyó en ella. Absorbió las ideas matemáticas que contenían, por incompletas que fueran: eran los primeros pasos dificultosos hacia una meta poco clara. Se dio cuenta también de las dificultades que tenían los dos científicos a la hora de definir sus términos. «Por velocidad de transmisión de datos (*intelligence*) se entiende el número de caracteres, esto es representaciones de diferentes letras, cifras, etc., que pueden transmitirse en un determinado tiempo.»^[6.56] Caracteres, letras, cifras: difíciles de contar. Eran

además conceptos para los cuales todavía no se habían inventado términos adecuados: «La capacidad de un sistema de transmitir una determinada secuencia de símbolos...».^[6.57]

Shannon sentía la promesa de la unificación. Las comunicaciones de las que hablaban los ingenieros no tenían que ver solo con los cables, sino también con el aire, el «éter», e incluso con la cinta perforada. Pensaban no solo en palabras, sino también en sonidos e imágenes. Representaban la totalidad del mundo como símbolos en la electricidad.

LA TEORÍA DE LA INFORMACIÓN

(Todo lo que busco es simplemente un cerebro mundano)

Quizá elaborar una teoría de la información y su desarrollo sea algo parecido a construir una línea ferroviaria transcontinental. Puedes empezar en el este, tratando de comprender cómo unos agentes pueden procesar determinadas cosas, y continuar hacia el oeste. O puedes empezar en el oeste, tratando de comprender qué es información, y luego proseguir hacia el este. La esperanza siempre es que estas vías se encuentren.^[7.1]

JON BARWISE (1986)

En plena segunda guerra mundial, a comienzos de 1943, dos grandes cerebros con ideas parecidas, Claude Shannon y Alan Turing, coincidían a diario a la hora del té en la cafetería de Bell Labs y no se decían ni palabra acerca de sus respectivos trabajos porque eran un asunto secreto.^[7.2] Los dos eran criptoanalistas. Incluso la presencia de Turing en Bell Labs era una especie de secreto. Había llegado a América en el *Queen Elizabeth*, zigzagueando en el océano para eludir a los submarinos alemanes, tras obtener un gran triunfo, aunque clandestino, en Bletchley Park durante el proceso de desciframiento de Enigma, el código utilizado por el ejército alemán para sus comunicaciones más importantes (incluidos los mensajes a los submarinos). Shannon estaba trabajando en el Sistema X, empleado para codificar las conversaciones que mantenían Franklin D. Roosevelt y el Pentágono con Winston Churchill desde sus Salas de Operaciones. Dicho sistema funcionaba realizando un muestreo de la señal de voz analógica cincuenta veces cada

segundo —«cuantificándola» o «digitalizándola»—, y ocultándola mediante la aplicación de una clave aleatoria, que solía guardar un gran parecido con el ruido del circuito al que los ingenieros estaban tan acostumbrados. Shannon no concibió este sistema; a él se le encomendó llevar a cabo un análisis teórico del mismo y demostrar —al menos eso se esperaba— su viabilidad. Y así lo hizo. Más tarde sería evidente que estos hombres, desde sus respectivos lados del Atlántico, habían hecho más que cualquier otra persona en el mundo por convertir el arte de la criptografía en una verdadera ciencia, pero por aquel entonces los codificadores y descodificadores aún no hablaban entre sí.

Al margen de este asunto, Turing mostró a Shannon un estudio que había escrito siete años atrás, titulado «Sobre los números computables», acerca de las capacidades y las limitaciones de una máquina computadora ideal. Conversaron sobre otro tema por el que sentirían una gran pasión, la posibilidad de que las máquinas aprendieran a pensar. Shannon proponía alimentar un cerebro electrónico con «cosas culturales», por ejemplo, música; los dos se superaron a sí mismos en sus comentarios, llegando Turing a exclamar en una ocasión que, «no, yo no estoy interesado en desarrollar un cerebro *poderoso*. Todo lo que busco es un cerebro mundano, algo como el presidente de la Compañía de Teléfonos y Telégrafos de los Estados Unidos».^[7.3] Rozaba el descaro atreverse a hablar de máquinas pensantes en 1943, cuando ni el transistor ni la computadora electrónica existían aún. La visión que compartían Shannon y Turing no tenía nada que ver con el mundo de la electrónica; era pura lógica.

¿*Pueden pensar las máquinas?* era una pregunta con una tradición relativamente moderna y algo curiosa y poco común; curiosa y poco común porque las máquinas eran rotundamente físicas en sí mismas. Charles Babbage y Ada Lovelace se situaban prácticamente en los comienzos de esta tradición, aunque no habían pasado en absoluto al olvido, y en aquellos momentos la estela conducía hasta Alan Turing, que hizo algo realmente estafalario: concibió una máquina con poderes ideales en el campo mental y demostró qué era lo que *no podía* hacer. Su máquina nunca existió (aunque ahora la encontremos por todas partes). Se trataba simplemente de un experimento mental.

Discurrir sobre la cuestión de lo que podía hacer una máquina era como discurrir sobre una cuestión paralela: qué funciones eran *mecánicas* (una vieja palabra con un nuevo significado). En aquellos momentos en los que las

máquinas podían tocar piezas musicales, capturaban imágenes, dirigían baterías antiaéreas, conectaban llamadas telefónicas, controlaban cadenas de montaje y realizaban cálculos matemáticos, el término no resultaba tan peyorativo. Pero únicamente los temerosos y los supersticiosos imaginaban que las máquinas podían llegar a ser creativas u originales, o espontáneas; estas eran unas cualidades contrarias al significado de *mecánico*, que indicaba algo automático, algo determinado, algo rutinario. Este concepto comenzó a resultar útil a los filósofos para ciertos propósitos. Un ejemplo de objeto intelectual que podía calificarse de mecánico era el algoritmo: otro término nuevo para algo que había existido siempre (una receta, una serie de instrucciones, un procedimiento indicado paso a paso), pero que en aquellos momentos exigía un reconocimiento formal. Babbage y Lovelace trataron los algoritmos sin nombrarlos. A partir de entonces, el siglo XX daría a los algoritmos un papel trascendental.

Turing era profesor del King's College de Cambridge —la misma escuela universitaria en la que había cursado sus estudios— cuando en 1936 presentó un trabajo sobre números computables al catedrático que había sido su mentor. El título completo de dicho estudio acababa con una sugerente y pomposa palabra en lengua alemana: «Los números computables, con una aplicación al *Entscheidungsproblem*». El «problema de decisión» era todo un desafío que había lanzado David Hilbert en el Congreso Internacional de Matemáticos de 1928. Probablemente el matemático más influyente de su época, Hilbert, al igual que Russell y Whitehead, creía fervientemente en la misión de arraigar todas las matemáticas a unos sólidos fundamentos lógicos: «*In der Mathematik gibt es kein Ignorabimus*», declaró («En matemáticas no hay *ignorabimus*», esto es, en matemáticas todo podrá saberse). Las matemáticas, por supuesto, tenían muchos problemas sin resolver, algunos bastante célebres, como, por ejemplo, el Último Teorema de Fermat y la conjetura de Goldbach, tesis que parecían ciertas, pero que no habían sido demostradas. No habían sido demostradas *aún*, pensaba la mayoría. Se tenía la esperanza, e incluso la absoluta certeza, de que todos los axiomas matemáticos quedarían demostrados algún día.

El *Entscheidungsproblem* consistía en encontrar un procedimiento riguroso y metódico mediante el cual, ante un lenguaje formal de razonamiento deductivo, se pudiera realizar automáticamente una prueba. Era el sueño de Leibniz revivido una vez más: la expresión de todo razonamiento lógico en leyes

mecánicas. Hilbert planteó lo mismo en forma de pregunta, pero era un optimista. Pensaba o esperaba conocer la respuesta. Fue precisamente entonces, en ese momento decisivo para las matemáticas y la lógica, cuando Gödel saltó a la palestra con su teorema de la incompletitud. Al menos en apariencia, los resultados de Gödel parecían el antídoto perfecto para el optimismo de Hilbert, así como para el de Russell. Pero en realidad Gödel dejó el *Entscheidungsproblem* sin resolver. Hilbert había distinguido tres cuestiones:

- ¿Son completas las matemáticas?
- ¿Son consistentes las matemáticas?
- ¿Son decidibles las matemáticas?

Gödel demostraba que las matemáticas no podían ser completas y consistentes a la vez, pero no había respondido de manera definitiva a la tercera cuestión, al menos no para todos los matemáticos. Aunque un determinado sistema cerrado de lógica formal deba contener factores que no son susceptibles de ser probados ni de ser no probados dentro de dicho sistema, es posible que pueda demostrarse mediante un evaluador externo, mediante una lógica o reglas externas.^(7.4)

Con apenas veintidós años, Alan Turing, poco familiarizado con buena parte de la literatura más relevante, y acostumbrado a aislarse tanto en su trabajo que suscitó en su tutor la preocupación de que acabara convertido en «un solitario sin remedio»,^[7.5] planteó una cuestión totalmente distinta (al menos, eso parecía): ¿Son computables todos los números? Para empezar se trataba de una pregunta inesperada, porque casi nadie había considerado la idea de un número *no* computable. La mayoría de los números con los que se trabaja, o en los que se piensa, son computables por definición. Los números racionales son computables porque pueden ser expresados como el cociente de dos enteros, a / b . Los números algebraicos son computables porque son soluciones de ecuaciones polinómicas. Números famosos como π y e son computables. Sin embargo, con aparente flexibilidad, Turing lanzó la afirmación de que puede haber números que son en cierto modo *nombrables*, definibles y *no* computables.

¿Qué significaba esto? Turing definía un número computable como aquel cuya expresión decimal puede ser calculada por medios finitos. «La

justificación», decía, «reside en el hecho de que la memoria humana es necesariamente limitada».^[7.6] También definía el *cálculo* como un procedimiento mecánico, un algoritmo. Los seres humanos resuelven problemas con intuición, con imaginación, con ráfagas de inspiración (supuestamente cálculos no mecánicos, o quizá, una vez más, simples cómputos cuyos pasos se suceden de manera oculta). Turing necesitaba eliminar lo inefable. Preguntaba, de manera casi literal, qué haría una máquina. «Según mi definición, un número es computable si sus decimales pueden ser escritos por una máquina».

Ninguna máquina de las ya ideadas podía constituir un modelo relevante. «Las computadoras» eran, como siempre, personas. Prácticamente todos los cálculos del mundo se realizaban aún escribiendo signos en un pedazo de papel. Turing tenía una máquina para dar información como punto de partida: la máquina de escribir. A los once años, en su época de estudiante en un internado, había imaginado que inventaba una. «Sabéis», dijo en una carta a sus padres, «las cosillas redondas son letras talladas en uno de los lados de la reglilla que mueve el disco  por un tampón que las impregna de tinta para marcar la letra, aunque esto no es todo».^[7.7] Por supuesto, una máquina de escribir no es automática; más que una máquina, es un instrumento. No hace que fluya por el papel un río de palabras; más bien es el papel el que, espacio a espacio, va cambiando de posición por la acción del tecleo, que hace que se impriman uno tras otro los distintos caracteres. Con este modelo en mente, Turing imaginó otro tipo de máquina de la máxima sencillez y simplicidad. Puesto a ser imaginativo, la máquina en cuestión no se veía obstaculizada por los detalles propios del mundo real necesarios para elaborar un proyecto, establecer unas especificaciones técnicas o realizar una solicitud de patente. Turing, como Babbage, concibió una máquina para computar números, pero sin tener que preocuparse por las limitaciones impuestas por el hierro y el latón. Ni siquiera planeó construir esa máquina.

Hizo un listado de las pocas cosas necesarias para el funcionamiento de su máquina: cinta, símbolos y estados. Cada una de ellas necesitaba su definición.

La *cinta* es para la máquina de Turing lo que es papel para una máquina de escribir. Pero si una máquina de escribir utiliza dos dimensiones de su papel, la de Turing emplea únicamente una (así pues, una cinta, una larga tira, dividida en espacios llamados celdas). «En aritmética elemental la naturaleza bidimensional

del papel es utilizada a veces», escribió. «Pero esta utilización siempre puede evitarse, y creo que todos estamos de acuerdo en que la naturaleza bidimensional del papel no es un aspecto fundamental para la computación.»^[7.8] Se supone que la cinta es infinita: siempre que lo necesitemos habrá cinta. Pero solo hay una celda «en la máquina» en cualquier momento dado. La cinta (o la máquina) puede moverse, hacia la izquierda o hacia la derecha, para pasar a la siguiente celda.

Los *símbolos* se escriben en la cinta, uno por celda. ¿Cuántos símbolos pueden utilizarse? La respuesta a esta pregunta exigía cierta reflexión, sobre todo para asegurarse de que el número fuera finito. Turing observó que las palabras —al menos en las lenguas de Europa— actuaban como símbolos independientes. El chino, decía, «trata de disponer de una infinidad enumerable de símbolos». Los números arábigos pueden ser considerados también infinitos, si 17 y 999.999.999.999.999 son tratados cada uno como símbolos distintos, pero prefirió considerarlos compuestos. «Siempre es posible utilizar secuencias de símbolos en lugar de símbolos únicos». De hecho, en su afán por conservar el espíritu minimalista de su máquina, Turing favoreció el mínimo absoluto de dos símbolos: una secuencia binaria, ceros y unos. Los símbolos no solo se escribían, sino que también podían ser leídos en la cinta («escaneados» en palabras de Turing). En realidad, por supuesto, no había aún tecnología alguna que pudiera escanear símbolos escritos en papel para almacenarlos en una máquina, pero había algún que otro equivalente, como, por ejemplo, las tarjetas perforadas como las que por entonces se utilizaban en las tabuladoras. Turing especificaba otra limitación: la máquina es «consciente» (solo cabe utilizar el término antropomórfico) de un símbolo a la vez: el que se encuentra en la celda que hay en la máquina.

Los *estados* requerían una explicación más exhaustiva. Turing empleaba la palabra «configuraciones» y señalaba que estas eran como «estados mentales». La máquina tenía unos cuantos de ellos, unos cuantos números finitos. En cualquier estado, la máquina realiza una o más acciones, dependiendo del símbolo en cuestión. Por ejemplo, en estado *a*, la máquina puede desplazarse una celda a la derecha si el símbolo en cuestión es 1, o una celda a la izquierda si el símbolo en cuestión es 0, o imprimir 1 si el símbolo en cuestión es blanco. En estado *b*, la máquina puede borrar el símbolo en cuestión. En estado *c*, si el

símbolo es 0 o 1, la máquina puede desplazarse hacia la derecha o detenerse. Después de cada acción, la máquina acaba en un estado nuevo, que puede ser el mismo u otro distinto. Los diversos estados utilizados para un determinado cálculo se almacenaban en una tabla (aquí no importaba la manera física de llegar a ello). La tabla de estados era, en efecto, el juego de instrucciones de la máquina.

Y eso era todo.

Turing estaba *programando* su máquina, aunque él no utilizaría aún esta expresión. A partir de las acciones primitivas —moverse, imprimir, borrar, cambiar de estado y detenerse— fueron construyéndose nuevos procesos, que se utilizarían una y otra vez: «copiar secuencias de símbolos, comparar secuencias, borrar todos los símbolos de una determinada forma, etcétera». La máquina puede leer solo un símbolo a la vez, pero es capaz de utilizar efectivamente partes de la cinta para almacenar temporalmente información. Como decía Turing, «algunos de los símbolos escritos [...] son simples anotaciones “para ayudar a la memoria”». La cinta, larga hasta el infinito, proporciona una información ilimitada. De esta manera, toda la aritmética permanece al alcance de la máquina. Turing enseñaba a añadir un par de números, esto es, confeccionó la tabla de estados necesaria. Demostraba cómo conseguir que la máquina imprimiera (continuamente) la representación binaria de π . Pasó un tiempo considerable averiguando qué podía hacer la máquina y cómo podía llegar a realizar determinadas funciones. Demostró que en su breve listado están incluidos todos los pasos que sigue un individuo cuando computa un número; que no hacen falta más conocimientos ni intuiciones. Todo lo computable puede ser computado por su máquina.

Luego vino la guinda final. Las máquinas de Turing, despojadas de todo lo accesorio y reducidas a una tabla de estados finita y a una serie de entradas finita, podían ser representadas como números. Todos los estados posibles, combinados con su cinta inicial, representan una máquina distinta. Todas las máquinas, pues, pueden ser descritas por números concretos (una determinada tabla de estados en combinación con su cinta inicial). Turing estaba codificando sus máquinas del mismo modo que Gödel había codificado el lenguaje de la lógica simbólica. Esto acababa con la distinción entre datos e instrucciones: al final todo eran números. Por cada número computable debe haber un número de

máquina correspondiente.

Turing creó (en su mente) una versión de la máquina que podía simular cualquier otra máquina posible, cualquier computadora digital. Llamó a esta máquina U , por «universal», y los matemáticos siguen utilizando cariñosamente este nombre en la actualidad. Dicha máquina toma los números de máquina como entradas. Esto es, lee con su cinta las descripciones de otras máquinas: sus algoritmos y sus propias entradas. Por mucha complejidad que alcance una computadora digital, su descripción sigue pudiéndose codificar en una cinta para que la lea U . Si un problema puede ser resuelto por una computadora digital —codificado en símbolos y solucionado algorítmicamente—, también puede ser resuelto por la máquina universal.

Así pues, vemos cómo las lentes del microscopio fijan la atención sobre sí mismas. La máquina de Turing se pone a examinar todos los números para comprobar si corresponden a un algoritmo computable. Algunos serán computables. Otros no lo serán. Y hay aún una tercera posibilidad, la que más apasionaba a Turing. Algunos algoritmos tal vez desafíen al investigador, haciendo que la máquina siga con su funcionamiento, realizando sus tareas inescrutables, sin detenerse nunca, sin repetirse nunca de manera evidente y dejando para siempre al observador y a su lógica sin saber si *se detendrá*.

Los argumentos de Turing, tal y como fueron publicados en 1936, se han convertido en una difícil obra maestra de definiciones recursivas, símbolos inventados para representar otros símbolos, números que representan números, tablas de estados, algoritmos y máquinas. Helas aquí:

Combinando las máquinas \mathcal{D} y \mathcal{U} podríamos construir una máquina \mathcal{M} para computar la secuencia β' . La máquina \mathcal{D} probablemente necesite una cinta. Podemos suponer que utilizará las celdas E bajo todos los símbolos de las celdas F , y que cuando llegue a un veredicto todo el trabajo pesado realizado por \mathcal{D} esté borrado [...]

Podemos demostrar también que *no puede haber una máquina \mathcal{E} que, cuando se aplique al S.D de una máquina arbitraria \mathcal{M} , determine si \mathcal{M} imprime alguna vez un determinado símbolo (0 por ejemplo).*

Pocos podían seguirlo. Parece paradójico —es paradójico—, pero lo cierto es que Turing demostró que algunos números no son computables. (De hecho, la

mayoría no lo son).

Como cada número corresponde a una proposición codificada de matemáticas y lógica, Turing también había resuelto la cuestión de Hilbert sobre si todas las proposiciones son decidibles. Había demostrado que el *Entscheidungsproblem* tiene una respuesta, y la respuesta es no. Un número no computable es, efectivamente, una proposición indecidible.

Así pues, el computador de Turing —una máquina curiosa, abstracta, fruto totalmente de su imaginación— lo llevó a una demostración análoga a la de Gödel. Pero fue más allá que Gödel porque definió el concepto general de un sistema formal. Cualquier procedimiento mecánico para generar fórmulas es en esencia una máquina de Turing. *Cualquier* sistema formal, pues, debe tener proposiciones indecidibles. Las matemáticas no son decidibles. La incompletitud se produce por la incomputabilidad.

Una vez más, aparecen paradojas cuando los números tienen el poder de codificar el propio funcionamiento de la máquina. Ese es el cambio recursivo necesario. La entidad que se calcula se ve fatalmente entrelazada con la entidad que realiza el cálculo. Como lo explicaría mucho más tarde Douglas Hofstadter: «La cosa consiste en conseguir que este inspector vacilante trate de predecir su propio comportamiento cuando se vea intentando predecir su propio comportamiento cuando...».^[7.9] Un enigma, que al menos sonaba similar, había aparecido también en física: el nuevo principio de incertidumbre de Werner Heisenberg. Cuando Turing lo conoció, lo expresó en términos de autorreferencia: «En ciencias, solía suponerse que si se sabía todo acerca del universo en un momento determinado, podía predecirse lo que iba a ocurrir en el futuro [...] Las ciencias más modernas, sin embargo, han llegado a la conclusión de que cuando tratamos con átomos y electrones no estamos muy capacitados para conocer su estado exacto, por mucho que nuestros instrumentos estén hechos ellos mismos de átomos y electrones».^[7.10]

Había pasado un siglo entre la máquina analítica de Babbage y la máquina universal de Turing, un pesado artilugio enorme y difícil de manejar y una elegante abstracción irreal. Turing nunca trató de convertirse en un mecánico. «Uno puede imaginarse a un oficinista diligente y aplicado, perfectamente provisto de papel de escribir, siguiendo incansablemente sus instrucciones», como comentaría años más tarde el matemático y experto en lógica Herbert

Enderton.^[7.11] Al igual que Ada Lovelace, Turing era un programador, que estudiaba la lógica meticulosa de su propia mente. Se imaginaba a sí mismo como un computador. Analizaba los procedimientos mentales hasta sus elementos constituyentes más pequeños, los átomos del proceso de información.

Alan Turing y Claude Shannon tenían unos códigos en común. Turing codificaba las instrucciones como números. Codificaba los números decimales como ceros y unos. Shannon creó códigos para los genes y los cromosomas y para los relés y los interruptores. Los dos aplicaron su inventiva para organizar un conjunto de objetos en otro conjunto: operadores lógicos y circuitos eléctricos; funciones algebraicas e instrucciones de máquinas. La combinación de símbolos y la idea de esbozar una organización, en el sentido de hallar una correspondencia rigurosa entre dos conjuntos, ocupaban un lugar prominente en sus arsenales mentales. Este tipo de codificación no tenía por objeto ensombrecer sino iluminar: descubrir que las manzanas y las naranjas eran al fin y al cabo equivalentes, o que si no eran equivalentes, eran fungibles. La guerra los llevó a los dos a la criptografía en sus formas más complejas.

La madre de Turing solía preguntarle para qué servían sus matemáticas, y ya en 1936 le respondió en una ocasión que les había descubierto una posible aplicación: «un montón de particulares códigos sumamente interesantes». Y añadió, «espero poder venderlos al gobierno de Su Majestad por una suma considerable, pero tengo mis dudas acerca de la moralidad de esas cosas».^[7.12] En efecto, una máquina de Turing podía *hacer* cifrados. Pero al final el gobierno de Su Majestad tendría un problema muy distinto. Ante la amenaza de la guerra, la misión de leer mensajes interceptados a los alemanes recayó en la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifrado, originariamente dependiente del Almirantazgo, cuyo personal estaba formado por lingüistas, oficinistas y taquimecanógrafos, pero no por matemáticos. Turing fue reclutado en el verano de 1938. Cuando esta escuela se trasladó de Londres a Bletchley Park, una mansión campestre situada en Buckinghamshire, trabajó en la nueva sede junto con un equipo en el que también figuraban algunos campeones de ajedrez e individuos apasionados de los crucigramas. Por aquel entonces ya estaba bastante claro que los conocimientos de las lenguas clásicas poco podían contribuir al criptoanálisis.

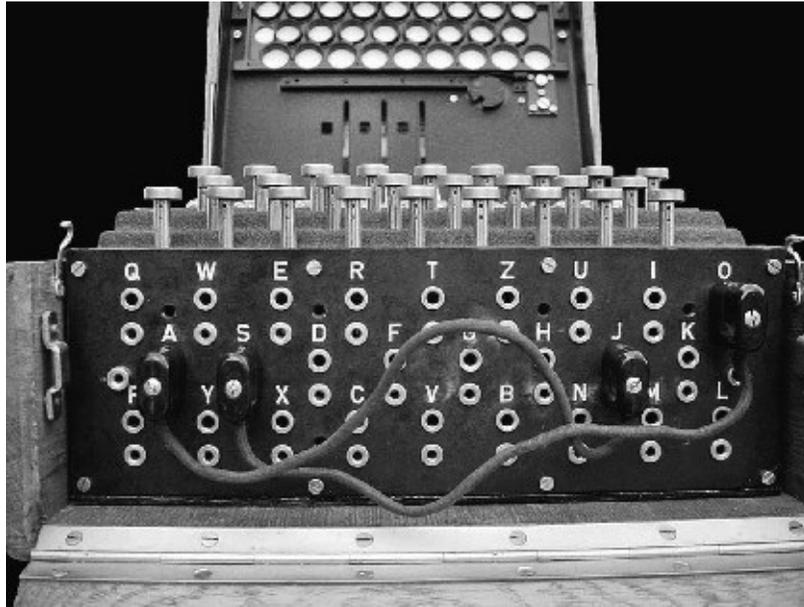
El sistema alemán, llamado Enigma, utilizaba un cifrado polialfabético que

era activado por una máquina rotatoria del tamaño de una maleta, con un teclado similar al de las máquinas de escribir y un panel de luces. El cifrado había evolucionado a partir de un famoso precursor, el cifrado de Vigenère, considerado indescifrable hasta que Charles Babbage lo resolvió en 1854, y la percepción matemática de Babbage ayudó en un primer momento en Bletchley, como también supuso una gran ayuda el trabajo de los criptógrafos polacos que habían tenido una dura experiencia con el tráfico de mensajes de la Wehrmacht durante los últimos años. Trabajando en un escondrijo llamado Barracón 8, Turing se encargó de resolver el problema, no solo matemáticamente, sino también físicamente.

Esto supuso construir una máquina para invertir el cifrado de cualquier número de Enigmas. Aunque su primera máquina fuera el fantasma de una hipotética cinta, este aparato, llamado el *Bombe*, ocupaba un espacio de noventa pies cúbicos con una tonelada de cables y metal goteando aceite y simulaba la acción de los rotores de las Enigma. La victoria científica alcanzada en Bletchley —mantenida en secreto no solo en tiempos de la guerra, sino incluso durante los treinta años siguientes— tuvo unas consecuencias mucho más determinantes en el resultado del conflicto que el propio Proyecto Manhattan, esto es, la bomba de verdad. Al final de la guerra, los *Bombes* de Turing descifraban millares de interceptaciones militares cada día: procesaban información en una escala nunca vista hasta entonces.

Aunque Turing y Shannon no hablaran de nada de esto cuando se encontraban a la hora del almuerzo en Bell Labs, sí que hablaban indirectamente de una idea de Turing sobre cómo medir todo este *material*. Turing había observado cómo los analistas pesaban los mensajes que pasaban por Bletchley, algunos dudosos y otros contradictorios, mientras trataban de determinar la probabilidad de algún hecho, como, por ejemplo, el sistema de codificación de una Enigma en particular o la situación de un submarino. Notaba que había algo allí que debía medirse matemáticamente. No se trataba de la probabilidad, que tradicionalmente iría expresada en lo que se denomina *odds ratio* (como tres a dos) o en un número comprendido entre cero y uno (como, por ejemplo, 0,6, o 60 por ciento). Lo que más bien preocupaba a Turing era la información que *cambiaba* la probabilidad: un factor de probabilidad, algo así como el peso de la evidencia. Inventó una unidad a la que llamó «ban». Le pareció apropiado

utilizar una escala logarítmica, para que los banes fueran sumados en lugar de multiplicados. Con una base de diez, un ban era el peso de la evidencia necesario para hacer que un hecho fuera diez veces probable. Para unas mediciones más ajustadas había «decibanos» y «centibanos».



Máquina Enigma.

Shannon tuvo una idea más o menos similar.

Mientras trabajaba en la antigua central de West Village, desarrolló conceptos teóricos de criptografía que le permitieron concentrarse en el sueño que le había confesado a Vannevar Bush: su «análisis de algunas de las propiedades fundamentales de los sistemas generales para la transmisión de información». Durante toda la guerra, avanzó por caminos paralelos a los de Turing, mostrando a sus supervisores el trabajo criptográfico y ocultando el resto. Ocultar estaba a la orden del día. En el reino de las matemáticas puras, Shannon trabajó en algunos de los mismos sistemas de cifrado que Turing atacaba con verdaderas interceptaciones y un hardware rudimentario (por ejemplo, la cuestión específica de la seguridad de los criptogramas de Vigenère cuando «el enemigo sabe que se utiliza el sistema»).[7.13] (Los alemanes utilizaban precisamente este tipo de criptogramas, y los británicos eran los enemigos que conocían el sistema). Shannon estudiaba los casos más generales, relacionados, como decía él, con «información aislada». Esto significaba unas

secuencias de símbolos, elegidos en un conjunto finito, principalmente letras del alfabeto, aunque también palabras de una lengua e incluso de un «lenguaje cuantificado», señales de voz divididas en grupos con distintos niveles de amplitud. Ocultarlas significaba sustituir los símbolos equivocados por los correctos, según un determinado procedimiento sistemático en el que el receptor del mensaje conoce una *clave* y puede utilizarla para revertir las substituciones. Un sistema seguro funciona incluso cuando el enemigo conoce el procedimiento, siempre y cuando la clave siga siendo un secreto.

Los descifradores observan toda una serie de datos que parecen no tener sentido. Quieren encontrar la verdadera señal. «Desde el punto de vista del criptoanalista», comentaba Shannon, «un sistema secreto es prácticamente idéntico a un sistema de comunicación con ruidos».^[7.14] (Concluyó su informe, «Teoría matemática de la criptografía», en 1945; el documento fue inmediatamente clasificado). La serie de datos está preparada para que parezca estocástica, o aleatoria, pero ni que decir tiene que no lo es: si fuera realmente aleatoria la señal se perdería. El cifrado ha de transformar algo que sigue un patrón, lenguaje corriente, en algo aparentemente sin patrón. Pero el patrón es sorprendentemente persistente. Para analizar y categorizar las transformaciones del cifrado, Shannon tenía que comprender los patrones de lenguaje de una manera muy distinta a la de cualquier especialista en la materia (por ejemplo, un lingüista). Los lingüistas habían comenzado, sin embargo, a abordar su disciplina desde el punto de vista estructuralista del lenguaje, basándose en sus vagas y ondulantes formas y sonidos. Uno de ellos, Edward Sapir, escribió sobre «átomos simbólicos» formados por los patrones fonéticos que se ocultan tras una lengua. «Los meros sonidos del habla», escribió en 1921, «no son el hecho esencial del lenguaje, que radica más bien en la clasificación, en los patrones formales [...] El lenguaje, como estructura, es innatamente el molde del pensamiento».^[7.15] *El molde del pensamiento* era una expresión exquisita. Shannon, sin embargo, necesitaba contemplar el lenguaje en términos más tangibles y computables.

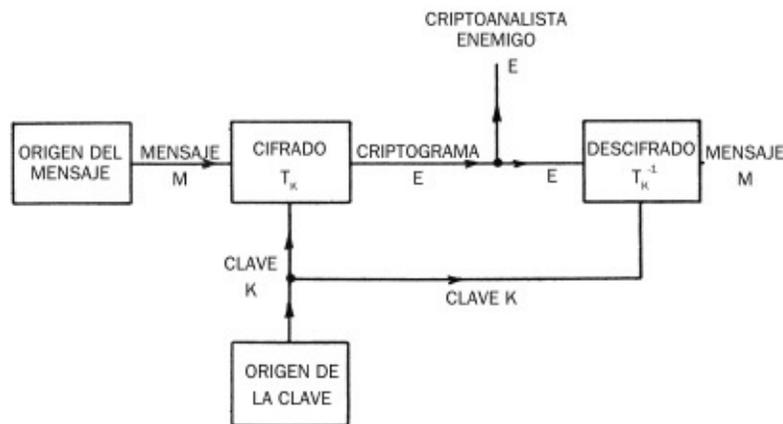
Patrón, en su opinión, equivalía a redundancia. En el lenguaje corriente, la redundancia sirve para ayudar a comprender. En criptoanálisis, esa misma redundancia es el talón de Aquiles. ¿Dónde está esa redundancia? En inglés, por ejemplo, siempre que aparece la letra *q*, la *u* que le sigue es redundante. (O casi:

sería totalmente redundante si no fuera por algunos casos poco frecuentes de palabras extranjeras, como, por ejemplo, *qin* y *Qatar*). Después de una *q*, se espera una *u*. No sorprende ni extraña. No aporta información alguna. Después de la letra *t*, una *h* tiene cierto grado de redundancia, porque es la letra que es más probable que le siga. Todas las lenguas tienen una determinada estructura estadística, sostenía Shannon, y con ella una cierta redundancia. Llamemos esto (proponía) *D*. «*D* mide, en un sentido, cuánta longitud de texto puede reducirse en una lengua sin perder ninguna información.»^[7.16]

Shannon calculaba que el inglés tiene aproximadamente un 50 por ciento de redundancia.^(7.1) Sin ordenadores con los que procesar enormes cantidades de texto, no podía tener una certeza absoluta, pero sus estimaciones eran correctas. Muchos pasajes habituales pueden reducir su extensión a la mitad sin perder información. (*If u cn rd ths...*, esto es, *If you can read this...*; «Si puedes leer esto...», «Si pdes lr sto...»). En los primeros cifrados por sustitución más sencillos, esta redundancia supuso su primer punto débil. Edgar Allan Poe sabía que cuando un criptograma contenía más zetas que cualquier otra letra, probablemente la *z* sustituyera a la *e*, pues *e* es la letra más frecuente en inglés. En cuanto se resolvió la cuestión de la *q*, se resolvió la de la *u*. Un descodificador buscaba patrones recurrentes que pudieran encajar con palabras o combinaciones de letras habituales, como, por ejemplo, *the*, *and* o *-tion*. Para perfeccionar este tipo de análisis de frecuencia, los descodificadores necesitaban tener mejor información sobre las frecuencias de las letras que la que habían conseguido Alfred Vail o Samuel Morse examinando cajas de tipos de imprenta; de todos modos, con unos cifrados más inteligentes se superó este problema, variando constantemente el alfabeto de sustitución, por lo que cada letra tenía muchos sustitutos posibles. Los patrones evidentes e identificables desaparecieron. Pero mientras un criptograma siguiera conservando el mínimo rastro de un patrón, cualquier forma o secuencia de regularidad estadística, un matemático podía, en teoría, encontrar la manera de descifrarlo.

Lo que tenían en común todos los sistemas secretos era el empleo de una clave: una palabra clave, o una frase, o un libro entero, o algo incluso más complejo, pero, en cualquier caso, una fuente de caracteres conocida por el emisor y el receptor, un conocimiento compartido al margen del propio mensaje. En el sistema alemán de la máquina Enigma, la clave estaba

configurada y se cambiaba todos los días; Bletchley Park tenía que descubrirla cada vez, y sus expertos comprobaban los patrones de lenguaje que acaban de ser transformados. Shannon, por su parte, permanecía aislado para tener una perspectiva más ventajosa, distante, general y teórica. Un sistema secreto comprendía un número finito (aunque probablemente muy elevado) de posibles mensajes, un número finito de posibles criptogramas, y entremedio, transformándose una a la otra, un número finito de claves, cada una de ellas con una probabilidad asociada. Este era su diagrama esquemático:



El enemigo y el receptor tratan de alcanzar el mismo objetivo: el mensaje. Estructurándolo de esta manera, en términos de matemáticas y probabilidades, Shannon había abstraído totalmente la idea del mensaje de sus detalles físicos. Sonidos, formas de onda, los obstáculos habituales con los que topaba un ingeniero de los Laboratorios Bell: nada de todo esto suponía un problema. El mensaje era considerado una elección: una alternativa seleccionada entre un conjunto. En Old North Church, la noche de la acción de Paul Revere, solo había dos mensajes posibles. En tiempos de la segunda guerra mundial el número de mensajes posibles era prácticamente incalculable, pero seguía siendo susceptible de un análisis estadístico.

Sin saber aún la importantísima experiencia real que se vivía en Bletchley Park, Shannon construyó un edificio de métodos algebraicos, teoremas y demostraciones que proporcionó a los criptólogos lo que nunca habían poseído: un método riguroso de comprobar la seguridad de cualquier sistema secreto. Estableció los principios científicos de la criptografía. Entre otras cosas,

demostró que eran posibles los cifrados perfectos, «perfectos» en el sentido de que ni siquiera un mensaje captado infinitamente largo serviría de ayuda a un descodificador («después de interceptar una cantidad determinada de material, el enemigo no está en una posición más ventajosa que antes»).[7.17] Pero dio una de cal y otra de arena, pues también demostró que los requisitos eran tan severos que resultaban prácticamente imposibles de cumplir. Efectivamente, en un cifrado perfecto todas las claves deben tener las mismas probabilidades, un gran número de caracteres aleatorios; cada clave solo puede utilizarse una vez; y, lo que es peor, cada clave tiene que ser tan larga como todo el mensaje.

En este documento secreto, casi de pasada, Shannon utilizó una expresión que no había empleado antes: «teoría de la información».

En primer lugar, Shannon debía eliminar «significado». Las comillas germicidas eran suyas. «El “significado” de un mensaje es normalmente irrelevante», decía alegremente.[7.18]

Recurría a semejante provocación para aclarar aún más cuál era su objetivo. Shannon debía, si iba a crear una teoría, apropiarse de la palabra *información*. «En este caso la “información”», escribía, «aunque esté relacionada con el significado cotidiano de la palabra, no puede ser confundida con ella». Al igual que Nyquist y Hartley antes de él, deseaba dejar de lado «los factores psicológicos» y centrar su atención exclusivamente en «lo físico». Pero si la «información» quedaba desposeída de contenido semántico, ¿qué quedaba? Pocas cosas podían decirse, y a primera vista todas parecían contradictorias. La información es incertidumbre, sorpresa, dificultad y entropía:

- «La información está estrechamente relacionada con la incertidumbre». La incertidumbre, a su vez, puede medirse contando el número de mensajes posibles. Si solo es posible un mensaje, no hay incertidumbre y, por lo tanto, no hay información.
- Algunos mensajes pueden ser más probables que otros, y la información implica sorpresa. La sorpresa es una manera de hablar de probabilidades. Si la letra que sigue a la t (en inglés) es la h , no se transmite tanta información, pues la probabilidad de h era relativamente elevada.

- «Lo que es significativo es la dificultad a la hora de transmitir el mensaje de un lugar a otro». Tal vez esto pareciera atrasado, o tautológico, como definir masa en términos de la fuerza necesaria para mover un objeto. Pero, en cualquier caso, masa *puede* definirse de esa manera.
- La información es entropía. Este era el concepto más curioso y poderoso de todos. La entropía, que ya de por sí es un concepto complejo y difícil de comprender, es una medida de desorden en termodinámica, la ciencia del calor y la energía.

Al margen de los sistemas de control de fuego y la criptografía, Shannon había estado pensando en esta confusión de ideas durante toda la guerra. Vivía solo en un apartamento de Greenwich Village y raramente socializaba con sus colegas, que en aquellos momentos trabajaban en su mayoría en la central de Nueva Jersey, mientras que él seguía prefiriendo desarrollar su labor en el viejo edificio situado en West Street. Allí no tenía que dar explicaciones. Su trabajo durante la guerra supuso para él una prórroga del servicio militar, prórroga que se mantuvo una vez concluido el conflicto bélico. Los Laboratorios Bell eran una empresa estrictamente masculina, pero durante la guerra el grupo de computación, de manera especial, comenzó a necesitar urgentemente personal competente, viéndose obligado a contratar mujeres, entre otras a Betty Moore, que se había criado en Staten Island. En opinión de Moore aquel departamento era como una oficina de dactilógrafos para un grupo de jefes matemáticos. Después de un año, Moore fue ascendida, pasando a trabajar con el grupo de investigación de microondas, en el antiguo edificio Nabisco —la «fábrica de galletas»—, situado frente al edificio principal de West Street. Este grupo diseñaba tubos en el segundo piso y los fabricaba en el primero, y de vez en cuando Shannon se dejaba caer por allí. Él y Betty empezaron a salir juntos en 1948, y se casaron a comienzos de 1949, precisamente cuando Claude ya era el científico del que todo el mundo hablaba.

Pocas bibliotecas disponían de la revista *The Bell System Technical Journal*, de modo que los investigadores tuvieron noticia de la publicación de «Una teoría matemática de la comunicación» de la manera tradicional, esto es, de oídas, y obtuvieron copias de ella también de la manera tradicional, esto es, pidiéndosela por escrito directamente al autor. Muchos de estos científicos utilizaron postales

ya impresas para esas solicitudes, que en el curso del siguiente año llegaron en grandes cantidades a su destino. No todo el mundo entendía aquel artículo. Las matemáticas resultaban una disciplina difícil para muchos ingenieros, y, por otra parte, el mundo de los matemáticos no era precisamente el mundo de los ingenieros. Pero Warren Weaver, director de ciencias naturales de la Fundación Rockefeller, ya estaba comentando con su presidente por aquel entonces que Shannon había hecho por la teoría de la comunicación «lo que Gibbs por la química física».^[7.19] Weaver había estado al frente del grupo de investigación de matemáticas aplicadas del gobierno estadounidense durante la guerra, encargándose de la supervisión del proyecto de control de fuego, así como de los primeros trabajos en el sector de las máquinas calculadoras electrónicas. En 1949 escribió para la revista *Scientific American* un ensayo no muy técnico en el que se hacía eco en términos de elogio de la teoría de Shannon, y más tarde, ese mismo año, los dos trabajos —el ensayo de Weaver y el artículo monográfico de Shannon— fueron publicados juntos en un mismo volumen, bajo un título mucho más aseverativo, *La teoría matemática de la comunicación*. En opinión de John Robinson Pierce, el ingeniero de los Laboratorios Bell que había sido testigo de la gestación simultánea del transistor y el artículo de Shannon, fue este último lo que «cayó como una bomba, como una especie de bomba de acción retardada».^[7.20]



Tren de la High Line circulando a través del edificio principal de los Laboratorios Bell, en West Street, Nueva York.

A diferencia de un profano, que habría podido decir que el problema fundamental de la comunicación es hacerse comprender, transmitir un mensaje, Shannon observaba lo siguiente:

El problema fundamental de la comunicación radica en reproducir exacta o aproximadamente en un punto determinado un mensaje seleccionado en otro punto. [\[7.21\]](#)

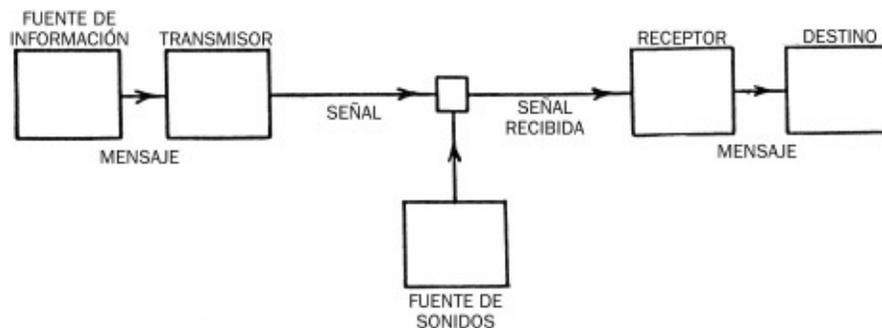
«Punto» era un término cuidadosamente elegido: el origen y el destino de un mensaje podían estar separados en el espacio o en el tiempo; el almacenamiento de información, como en un registro fonográfico, equivale a comunicación. Por otro lado, el mensaje no se crea; se selecciona. Es una elección. Puede ser tanto la carta extraída de una baraja, como tres dígitos decimales elegidos entre un millar de posibilidades o una combinación de palabras de un manual de códigos

fijos. Como difícilmente podía pasar por alto el significado en conjunto, Shannon optó por darle una definición científica, y lo expuso así:

Con frecuencia los mensajes tienen *significado*; esto es, hacen referencia a un sistema con determinadas entidades físicas o conceptuales, o están correlacionados según dicho sistema. Estos aspectos semánticos de la comunicación son irrelevantes para la cuestión de la ingeniería.

Ni que decir tiene que, como se esforzaba Weaver en explicar, esta no era una visión estrecha de la comunicación. Al contrario, era global y de gran alcance: comprendía «no solo el lenguaje escrito y oral, sino también la música, las artes iconográficas, el teatro, la danza y, de hecho, todo el comportamiento humano». También el no humano: ¿por qué no podían tener las máquinas mensajes que enviar?

El modelo de comunicación de Shannon encajaba en un sencillo diagrama (en esencia, y no por casualidad, el mismo diagrama que presentaba su documento secreto sobre criptografía).



Un sistema de comunicación debe contener los siguientes elementos:

- La fuente de información es el individuo o la máquina que genera el mensaje, el cual puede ser simplemente una secuencia de caracteres, como en un telégrafo o en un teletipo, o puede estar expresado matemáticamente en funciones — $f(x, y, t)$ — de tiempo u otras variables. En un ejemplo complejo como la televisión en color, los componentes son tres funciones en un continuo tridimensional, indicaba Shannon.

- El transmisor «opera en el mensaje en cierta manera» —esto es, *codifica* el mensaje— para producir una señal apropiada. Un teléfono convierte la presión de sonido en corriente eléctrica analógica. Un telégrafo codifica caracteres en puntos, rayas y espacios. Mensajes más complejos pueden ser muestreados, comprimidos, cuantificados e intercalados.
- El canal: «simplemente el medio utilizado para transmitir la señal».
- El receptor invierte la operación del transmisor. Descodifica el mensaje, o lo reconstruye a partir de la señal.
- El destino «es la persona (o cosa)» que se encuentra en el otro extremo.

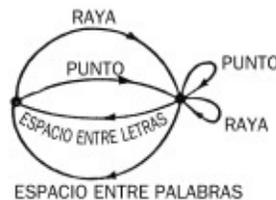
En el caso del lenguaje corriente, estos elementos son el cerebro del que habla, las cuerdas vocales del que habla, el aire, el oído del que escucha y el cerebro del que escucha.

Tan prominente como los demás elementos del diagrama de Shannon —pues para un ingeniero es inevitable— es el recuadro llamado «Fuente de Sonidos». Este recuadro abarca todo aquello que corrompe a la señal, de manera predecible o impredecible: adiciones no deseadas, simples errores, alteraciones aleatorias, la estática, «cuestiones atmosféricas», interferencias y distorsiones. Una familia difícil de controlar en cualquier caso, y Shannon tenía que enfrentarse a dos tipos diferentes de sistema, el de variables discretas y el de variables continuas. En un sistema de variables discretas, el mensaje y la señal adoptan la forma de símbolos separados e independientes, como los caracteres o los dígitos o como los puntos y las rayas. A pesar de la importancia de la telegrafía, los sistemas de variables continuas como las ondas y las funciones eran a los que cada día tenían que enfrentarse los ingenieros eléctricos. Todos los ingenieros, cuando se les pedía que enviaran más información a través de un canal, sabían qué debían hacer: aumentar la potencia. Sin embargo, en las largas distancias, este método fallaba, pues la amplificación de una señal una y otra vez produce un ensordecedor aumento de ruidos.

Shannon esquivaba este problema tratando la señal como una cadena de símbolos discretos. Así pues, en vez de aumentar la potencia, un emisor puede evitar ruidos utilizando más símbolos para corregir errores, del mismo modo que el africano que suena el tam-tam logra hacerse entender a través de largas

distancias no por golpear su instrumento con más fuerza, sino expandiendo la verbosidad de su discurso. Shannon consideraba que el caso discreto también resultaba más fundamental en un sentido matemático. Además, consideraba otro punto: que el tratamiento de mensajes como variables discretas podía aplicarse no solo en la comunicación tradicional, sino también en un nuevo subcampo bastante esotérico, a saber, la teoría de las máquinas computadoras.

Y volvía al telégrafo. Analizado con precisión, el telégrafo no utilizaba un lenguaje de solo dos símbolos, punto y raya. En el mundo real los telegrafistas utilizaban el punto (una unidad de «línea cerrada» y una unidad de «línea abierta»), la raya (tres unidades, por ejemplo, de línea cerrada y una unidad de línea abierta) y también dos espacios distintos: un espacio entre letras (habitualmente tres unidades de línea abierta) y un espacio más largo que separaba palabras (seis unidades de línea abierta). Estos cuatro símbolos no tenían la misma condición ni la misma probabilidad. Por ejemplo, un espacio no puede seguir nunca a otro espacio, mientras que tanto el punto como la raya pueden ir a continuación de cualquier cosa. Shannon lo expresaba en términos de *estados*. El sistema tiene dos estados: en uno de dichos estados, un espacio era el símbolo previo, y solo se permite un punto o una raya, y luego el estado cambia; en el otro, se permite cualquier símbolo, y el estado cambia únicamente si se transmite un espacio. Lo ilustra en un gráfico:



Esto distaba mucho de un sencillo sistema binario de codificación. No obstante, Shannon mostraba cómo derivar las ecuaciones correctas para averiguar el contenido de la información y la capacidad del canal. Lo que es más importante, se centraba en el efecto de la estructura estadística del lenguaje del mensaje. La mismísima existencia de dicha estructura —una mayor frecuencia de *e* que de *q*, de *th* que de *xp*, etcétera— permite ahorrar tiempo, o lo que es lo mismo, capacidad del canal.

Esto ya se ha realizado en cierta medida en la telegrafía, utilizando la secuencia más corta del canal, un punto, para la letra más habitual en inglés, la E; por su parte, las letras menos frecuentes, la Q, la X y la Z, están representadas por secuencias más largas de puntos y rayas. Esta idea va más allá en determinados códigos comerciales en los que palabras y frases comunes están representadas por grupos de códigos de cuatro o cinco letras con un ahorro considerable de tiempo. Los telegramas de cumpleaños y de felicitaciones actualmente de moda extienden este hecho hasta el punto de codificar una o dos frases en una secuencia de números relativamente corta.^[7.22]

Para ilustrar la estructura del mensaje, Shannon recurrió a cierta metodología y cierto lenguaje de la física de los procesos estocásticos, desde el movimiento browniano hasta la dinámica estelar. (Citó un artículo emblemático del astrofísico Subrahmanyan Chandrasekhar publicado en 1943 en *Reviews of Modern Physics*.)^[7.23] Un proceso estocástico no es ni determinista (el siguiente suceso puede calcularse con seguridad) ni aleatorio (el siguiente suceso es absolutamente libre). Está regido por una serie de probabilidades. Cada suceso tiene una probabilidad que depende del estado del sistema y tal vez también de su historia anterior. Si sustituimos *suceso* por *símbolo*, observamos que un lenguaje escrito natural, como puede ser el inglés o el chino, se convierte en un proceso estocástico. Lo mismo ocurre con un lenguaje digitalizado, y lo mismo ocurre con una señal de televisión.

Profundizando en el tema, Shannon examinó la estructura estadística en términos de cuál es la cantidad de mensaje que influye en la probabilidad del siguiente símbolo. La respuesta podía ser ninguna: cada símbolo tiene su propia probabilidad, pero esta no depende de nada de lo precedente. Es el caso de primer orden. En el caso de segundo orden, la probabilidad de cada símbolo depende del símbolo inmediatamente anterior, pero no de los demás. Así pues, cada combinación de dos caracteres, o diagrama, tiene su propia probabilidad: en inglés, la de *th* es mayor que la de *xp*. En el caso de tercer orden, nos fijamos en trigramas, etcétera. Más allá de esto, en un texto corriente, tiene sentido fijarse en el nivel de palabras en vez de los caracteres aislados, y entran en juego muchos tipos de factores estadísticos. Inmediatamente después de la palabra *amarillo*, algunas palabras tienen una probabilidad mayor que la habitual, y otras prácticamente ninguna. En inglés, después del artículo *an*, las palabras que empiezan con consonante son una rarísima excepción. En esta misma lengua, si

una palabra acaba con la letra *u*, dicha palabra probablemente sea *you*. Si dos letras consecutivas son iguales, probablemente se trate de *ll*, *oo*, *ee* o *ss*. Y la estructura puede extenderse a lo largo de grandes distancias: en un mensaje que contenga la palabra *vaca*, incluso después de que intervengan muchos otros caracteres, es relativamente probable que la palabra *vaca* vuelva a aparecer. Lo mismo ocurre con la palabra *caballo*. Un mensaje, en opinión de Shannon, puede actuar como un sistema dinámico cuyo curso futuro está condicionado por su historia pasada.

Para ilustrar las diferencias existentes entre estos distintos órdenes de estructura, escribió —o mejor dicho, computó— una serie de «aproximaciones» de texto en lengua inglesa. Utilizó un alfabeto de veintisiete caracteres, las letras más un espacio entre palabras, y creó unas cadenas de caracteres con la ayuda de una tabla de números aleatorios. (Números que extrajo de un libro recientemente publicado para este fin por Cambridge University Press: cien mil dígitos por tres chelines y nueve peniques, y los autores «han ofrecido una garantía del orden aleatorio.»)^[7.24] Incluso disponiendo de antemano de números aleatorios, la elaboración de las secuencias supuso un trabajo concienzudo y esmerado. Los textos de la muestra eran como sigue:

- «Aproximación de orden cero»: esto es, caracteres aleatorios, sin estructura ni correlación.

XFOML RXKHRJFFJUJ ZLPWCFWKCYJ
FFJEYVKCQSGHYD QPAAMKBZAACIBZLHJQD.

- Primer orden: cada carácter es independiente de los demás, pero las frecuencias son las que se esperan en inglés: más letras *e* y *t*, menos letras *z* y *j*, y las longitudes de las palabras parecen en consonancia con la realidad.

OCRO HLI RGWR NMIELWIS EU LL NBNESEBYA
TH EEI ALHENHTTPA OOBTTVA NAH BRL.

- Segundo orden: las frecuencias de cada carácter encajan con la lengua

inglesa, al igual que lo hacen las frecuencias de cada diagrama, o par de letras. (Shannon encontró las estadísticas necesarias en tablas elaboradas para la utilización de descodificadores. El diagrama más común en inglés es *th*, con una frecuencia de ciento sesenta y ocho veces por mil palabras, seguido de *he*, *an*, *re* y *er*. Hay un número bastante elevado de diagramas con frecuencia cero.)^[7.25]

ON IE ANTSOUTINYS ARE T INCTORE ST BE S DRAMY ACHIN D
ILONASIVE TUOOOWE AT TEASONARE FUSO TIZIN ANDY
TOBESEACE CTISBE.

- Tercer orden: estructura de trigramas.

IN NO IST LAT WHEY CRATICT FROURE BIRS GROCID
PONDENOME OF DEMONSTURES OF THE REPTAGIN IS
REGOACTIONA OF CRE.

- Aproximación de palabra de primer orden.

REPRESENTING AND SPEEDILY IS AN GOOD APT OR COME CAN
DIFFERENT NATURAL HERE HE THE A IN CAME THE TO OF TO
EXPERT GRAY COME TO FURNISHES THE LINE MESSAGE HAD BE
THESE.

- Aproximación de palabra de tercer orden: en este caso aparecen pares de palabras en la frecuencia esperada, de modo que en lengua inglesa no vemos conjuntos como «*a in*» ni como «*to of*».

THE HEAD AND IN FRONTAL ATTACK ON AN ENGLISH WRITER
THAT THE CHARACTER OF THIS POINT IS THEREFORE ANOTHER
METHOD FOR THE LETTERS THAT THE TIME OF WHO EVER TOLD
THE PROBLEM FOR AN UNEXPECTED.

Todas estas secuencias cada vez «se asemejan» más al inglés. Y hay un

hecho menos subjetivo: los mecanógrafos más expertos pueden manejarlas cada vez con mayor velocidad, lo que viene a indicar la diversidad de maneras en las que los individuos internalizan una estructura estadística del lenguaje.

Shannon habría podido crear más aproximaciones, de haber tenido más tiempo, pues la labor en la que estaba inmerso era ingente. La cuestión era representar un mensaje como el resultado de un proceso que generaba sucesos con probabilidades discretas. Así pues, ¿qué cabía decir de la cantidad de información, o de la velocidad con la que se genera información? Para cada suceso, cada una de las alternativas posibles tiene una probabilidad conocida (representada como ρ_1, ρ_2, ρ_3 , etcétera). Shannon quería definir la medida de información (representada como H) como la medida de incertidumbre: «qué cantidad de “alternativa” participa en la selección del suceso, o cuánta incertidumbre tenemos en lo que respecta al resultado».^[7.26] Las probabilidades podían ser las mismas o distintas, pero normalmente más alternativas comportaban una mayor incertidumbre, más información. Las alternativas podían ser disociadas en alternativas sucesivas, con sus propias probabilidades, y las probabilidades debían ser aditivas; por ejemplo, la probabilidad de un diagrama concreto tenía que ser una suma ponderada de las probabilidades de los distintos símbolos. Cuando esas probabilidades eran iguales, la cantidad de información transmitida por cada símbolo era simplemente el logaritmo del número de símbolos posibles, la fórmula de Nyquist y Hartley:

$$H = n \log s$$

Para un caso más real, Shannon llegó a una elegante solución para el problema de cómo medir información como una función de probabilidades: una ecuación que sumaba las probabilidades con una ponderación logarítmica (la base 2 era la más conveniente). Es el logaritmo medio de la improbabilidad del mensaje; en efecto, una medida de sorpresa, de lo inesperado:

$$H = -\sum \rho_i \log_2 \rho_i$$

donde ρ_i es la probabilidad de cada mensaje. Declaró que esto se repetiría una y otra vez: que las cantidades de esta forma «desempeñan un papel fundamental en la teoría de la información como medidas de información, de alternativa y de incertidumbre». En efecto, H es omnipresente, llamada convencionalmente la

entropía de un mensaje, o la entropía de Shannon, o, simplemente, la información.

Era necesario disponer de una nueva unidad de medida. Shannon dijo: «Las unidades resultantes podrían denominarse dígitos binarios o, de una manera abreviada, simplemente *bits*».^[7.27] Como la cantidad más pequeña posible de información, un bit representa la cantidad de incertidumbre que hay al arrojar al aire una moneda. El juego de cara o cruz comporta una alternativa, dos posibilidades con la misma probabilidad: en este caso p_1 y p_2 equivalen ambos a $\frac{1}{2}$; el logaritmo de base 2 de $\frac{1}{2}$ es -1 ; de modo que $H = 1$ bit. Un solo carácter elegido al azar en un alfabeto de treinta y dos letras transmite más información: 5 bits, para ser exactos, pues hay treinta y dos mensajes posibles y el logaritmo de 32 es 5. Una cadena de mil de estos caracteres lleva cinco mil bits, no solo por simple multiplicación, sino porque la cantidad de información representa la cantidad de incertidumbre: el número de alternativas posibles. Con mil caracteres en un alfabeto de treinta y dos caracteres, hay $32^{1.000}$ mensajes posibles, y el logaritmo de este número es 5.000.

Aquí es donde la estructura estadística de los lenguajes naturales vuelve a aparecer en escena. Si se sabe que el mensaje de mil caracteres es un texto en inglés, el número de mensajes posibles es más reducido, *mucho* más reducido. Observando las correlaciones que se establecen entre ocho letras, Shannon calculaba que el inglés tiene una redundancia intrínseca de aproximadamente un 50 por ciento: que en un mensaje cada nuevo carácter no transmite 5 bits, sino solo alrededor de 2,3. Considerando los efectos estadísticos de mayor alcance, a un nivel de frases y párrafos, elevaba ese cálculo a un 75 por ciento, advirtiéndolo, sin embargo, que los cálculos de esta clase resultan «más erráticos e imprecisos, y dependen fundamentalmente del tipo de texto en cuestión».^[7.28] Una manera de medir la redundancia era claramente empírica: hacer un test psicológico a un sujeto humano. Este método «explora el hecho de que cualquiera que hable una lengua posee, implícitamente, un conocimiento enorme de la estadística de la lengua».

La familiaridad con los términos, los modismos, los tópicos y la gramática le permite en una prueba de lectura averiguar las letras que faltan en una palabra, y corregir las equivocadas, así como completar una frase inacabada en una conversación.

El sujeto humano al que sometió a esta prueba de lectura era una mujer, su esposa Betty. Cogió un libro de la estantería (una novela policíaca de Raymond Chandler, *Pickup on Noon Street*), puso su dedo en un breve pasaje elegido al azar y le pidió a Betty que empezara a adivinar cuál era la primera letra, luego la segunda, la tercera, etcétera. Por supuesto, cuanto más texto podía ver, más probabilidades tenía de acertar. Después de la frase «A SMALL OBLONG READING LAMP ON THE», Betty no adivinó la letra. Pero cuando supo que se trataba de la *D*, no tuvo problemas para adivinar cuáles eran las tres letras siguientes. Shannon indicaba que «los errores, como cabía esperar, se producen con más frecuencia al principio de las palabras y las sílabas en las que la línea de pensamiento tiene más posibilidades de ramificarse».

Cuantificar la predecibilidad y la redundancia de esta manera es una forma retrospectiva de medir el contenido de información. Si puede adivinarse una palabra por lo que sabemos que la precede, es que es redundante; como es redundante, no ofrece ninguna información nueva. Si el inglés tiene una redundancia del 75 por ciento, entonces un mensaje de mil letras en inglés solo proporciona el 25 por ciento de la información que ofrecen mil letras elegidas al azar. Por paradójico que parezca, los mensajes aleatorios llevan *más* información. Todo esto implicaba que el texto en un lenguaje natural podía ser codificado más eficazmente para su transmisión o su almacenamiento.

Shannon demostró una manera de hacerlo: un algoritmo que aprovecha distintas probabilidades de diferentes símbolos. Y ofreció una serie de resultados fundamentales realmente sorprendente. Uno fue el teorema de la capacidad del canal, el límite de velocidad absoluta de cualquier canal de comunicación (lo que actualmente se denomina simplemente el límite de Shannon). Otro fue el descubrimiento de que, sin sobrepasar este límite, siempre debe ser posible concebir esquemas de corrección de errores que eviten cualquier nivel de ruido. El emisor tal vez tenga que dedicar más y más bits a la corrección de errores, haciendo que la transmisión sea cada vez más lenta, pero al final el mensaje llegará a su destino. Shannon no enseñaba a concebir dichos esquemas; solo demostró que era posible hacerlo, inspirando así una futura rama de las ciencias informáticas. «¿Reducir cuanto uno quiera la probabilidad de error? Nadie había pensado en ello», recordaría años después su colega Robert Fano. «No sé cómo llegó a esa percepción, ni cómo llegó a esas conclusiones. Pero lo cierto es que

prácticamente toda la teoría de la comunicación moderna se basa en ese trabajo.»^[7.29] La codificación, ya sea cuando eliminamos redundancia para aumentar la eficiencia, como cuando añadimos redundancia para permitir la corrección de errores, depende del conocimiento de la estructura estadística del lenguaje para su realización. La información no puede separarse de las probabilidades. Fundamentalmente, un bit es siempre una moneda al aire.

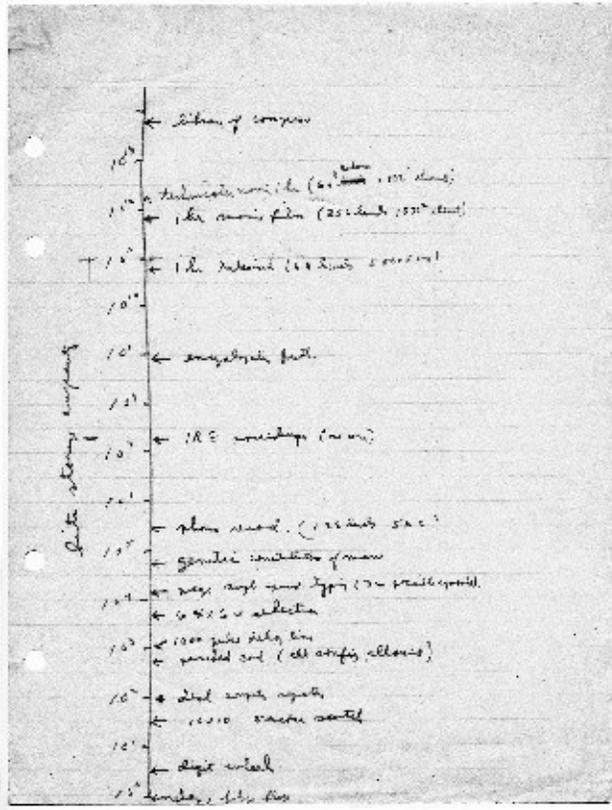
Si por un lado la cara y la cruz de una moneda constituían una forma de representar un bit, Shannon ofrecía, además, un ejemplo más práctico relacionado con el hardware:

Un aparato con dos posiciones estables, como, por ejemplo, un relé y un circuito biestable, puede almacenar un bit de información. N de estos aparatos pueden almacenar N bits, pues el número total de estados posibles es 2^N y $\log_2 2^N = N$.

Shannon había visto aparatos —por ejemplo, conjuntos de relés— que podían almacenar cientos, e incluso miles, de bits. Esa parecía una cantidad enorme. Cuando estaba concluyendo su artículo, entró un día en la oficina de un colega de los Laboratorios Bell, William Shockley, un físico de treinta y tantos años. Shockley pertenecía a un grupo de especialistas en física del estado sólido que trabajaban buscando alternativas a las válvulas de vacío para el campo de la electrónica, y sobre su mesa había un diminuto prototipo, un pedazo de cristal semiconductor. «Es un amplificador de estado sólido», dijo Shockley a Shannon.^[7.30] Por aquel entonces aún no tenía un nombre.

Un día del verano de 1949, antes de que apareciera el volumen titulado *La teoría matemática de la comunicación*, Shannon cogió un lápiz y un pedazo de papel de un cuaderno, trazó una línea vertical y escribió las potencias de diez desde 10^0 hasta 10^{13} . Denominó ese eje «capacidad de almacenamiento de bits».^[7.31] Empezó a confeccionar una lista de varias cosas de las que podía decirse que «almacenaban» información. Una rueda digital, como la de una máquina calculadora de sobremesa —diez dígitos decimales— representa poco más de 3 bits. Justo por debajo de 10^3 bits, Shannon escribió «tarjeta perforada

(permitidas todas las config.)». A los 10^4 bits, indicó «mecanografiado de página a un solo espacio (32 símbolos posibles)». Aproximadamente a los 10^5 bits anotó un comentario insólito y extraño: «constitución genética del hombre». No había realmente ningún precedente de esto en el pensamiento científico de la época. James D. Watson era un estudiante de veintiún años de zoología en Indiana; aún tendrían que pasar varios años para que se produjera el descubrimiento de la estructura del ADN. Se trataba de la primera vez que alguien sugería que el genoma era un almacenamiento de información medible en bits. La conjetura de Shannon se quedaría corta, al menos en cuatro órdenes de magnitud. Creía que un «disco de vinilo (128 niveles)» contenía más información: unos 300.000 bits. Asignó al nivel de 10 millones una voluminosa revista especializada (*Proceedings of the Institute of Radio Engineers*), y al de 1.000 millones la Enciclopedia Británica. Calculaba que una hora de retransmisión televisiva equivalía a 10^{11} bits, y una hora de «película en technicolor» a más de un billón. Por último, justo por debajo de la rayita que había trazado con su lápiz para indicar 10^{14} , 100 billones de bits, colocó el almacenamiento de información más grande que podía imaginar: la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos de América en Washington DC.



EL GIRO INFORMACIONAL

(El ingrediente básico para construir una mente)

Probablemente resulte peligroso utilizar esta teoría de la información en campos para los cuales no ha sido diseñada, pero creo que ese peligro no impedirá a la gente utilizarla.^[8.1]

J. C. R. LICKLIDER (1950)

La mayoría de las teorías matemáticas suelen tomar forma lentamente; la teoría de la información de Shannon, en cambio, surgió como Atenea, completamente formada. Sin embargo, el librito de Shannon y Weaver no suscitó demasiado la atención del público cuando apareció en 1949. La primera reseña vino de un matemático, Joseph L. Doob, que se quejaba de que era una obra más «sugestiva» que matemática, «y no siempre está claro que las intenciones matemáticas del autor sean honorables».^[8.2] Una revista de biología afirmaba: «A primera vista, podría parecer que es ante todo una monografía sobre ingeniería con poca o nula aplicación en los problemas humanos. Pero en realidad la teoría tiene algunas implicaciones muy interesantes».^[8.3] *The Philosophical Review* decía que sería un error por parte de los filósofos pasar por alto aquel libro: «Shannon desarrolla un concepto de *información* que, de manera bastante sorprendente, es una extensión del concepto termodinámico de *entropía*».^[8.4] La reseña más extraña tenía poco de tal: eran cinco párrafos aparecidos en el número de *Physics Today* de septiembre de 1950, que iban firmados por Norbert Wiener, del Instituto de Tecnología de Massachusetts

(MIT).

Wiener empezaba contando una anécdota en un tono un poquito displicente:

Hace unos quince años, un joven estudiante brillantísimo se presentó ante las autoridades del MIT con una idea de una teoría de la conmutación eléctrica, basada en el álgebra de la lógica. Ese estudiante era Claude E. Shannon.

En el libro que ahora le ocupaba, seguía diciendo Wiener, Shannon, junto con Warren Weaver, «ha hecho un resumen de sus ideas sobre ingeniería de la comunicación».

La idea fundamental desarrollada por Shannon, decía Wiener, «es la de la cantidad de información como entropía negativa». Decía que él mismo —«el autor de la presente reseña»— había desarrollado la misma idea aproximadamente por la misma época.

Wiener afirmaba que el libro era un trabajo «cuyos orígenes son independientes de mi propia obra, pero ha estado vinculado desde el principio a mis investigaciones por influencias cruzadas en ambas direcciones». Mencionaba a «aquellos que hemos intentado aplicar esta analogía al estudio del demonio de Maxwell» y añadía que todavía quedaba mucho trabajo por hacer.

Sugería a continuación que el tratamiento del lenguaje era incompleto si no se hacía más hincapié en el sistema nervioso humano: «La recepción nerviosa y la transmisión del lenguaje al cerebro. Y digo esto no como una crítica hostil».

Por último, Wiener concluía con un párrafo dedicado a otro libro nuevo: «Mi obra *Cibernética*». Ambos libros, decía, representan los «primeros disparos de foguero en un campo que augura un crecimiento rápido»:

En mi libro, he tenido el privilegio como autor de ser más especulativo y de abarcar un terreno más amplio que los doctores Shannon y Weaver [...] No solo hay espacio suficiente para libros distintos, sino una necesidad muy concreta de ellos.

Felicitaba a sus colegas por la aproximación tan bien elaborada e independiente que habían hecho... a la cibernética.

Shannon, mientras tanto, había contribuido ya a la redacción de una breve reseña sobre el libro de Wiener en los *Proceedings of the Institute of Radio*

Engineers, haciendo unos elogios que cabría calificar de tímidos.^[8.5] Es una «introducción excelente», decía. A decir verdad, había un poco de tensión entre aquellos dos hombres. Podía sentirse su peso en la larga nota al pie que inauguraba la primera página de la sección de *La teoría matemática de la comunicación* correspondiente a Weaver:

El propio doctor Shannon ha subrayado que la teoría de la comunicación debe mucho al profesor Norbert Wiener en lo concerniente a mucha de su filosofía básica. El profesor Wiener, por otra parte, señala que muchos de los trabajos anteriores de Shannon sobre conmutación y lógica matemática son anteriores a su interés por este campo; y añade generosamente que Shannon merece desde luego todo el crédito por el desarrollo independiente de aspectos tan fundamentales de la teoría como la introducción de las ideas sobre la entropía.

Un colega de Shannon, John Pierce, escribiría después: «La mente de Wiener estaba llena de su propio trabajo [...] Personas competentes me han dicho que, a pesar del malentendido sobre si conocía ya o no lo que había hecho Shannon, en realidad no se dio cuenta nunca de ello».^[8.6]

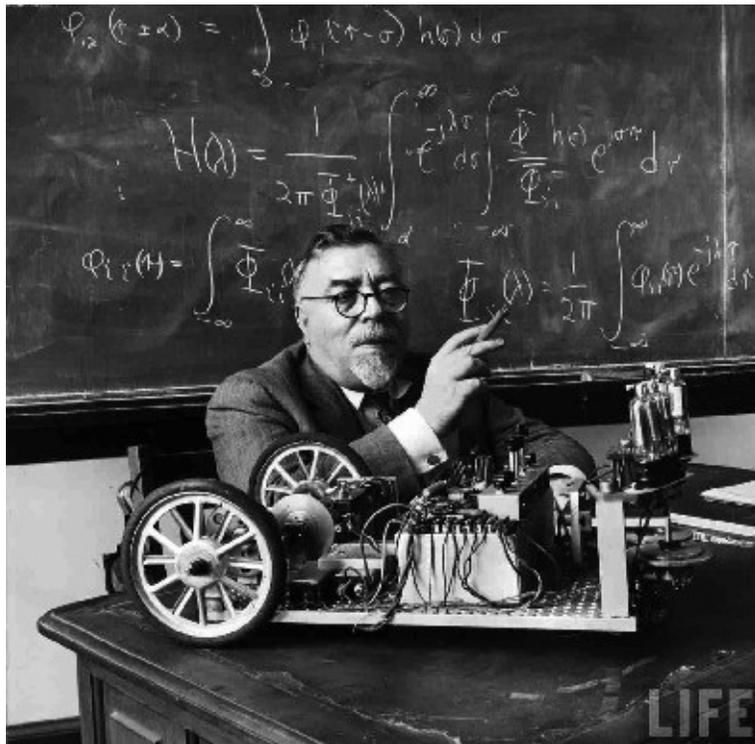
La *cibernética* era un neologismo, un futuro cliché, un nuevo campo propuesto al estudio, un movimiento filosófico en ciernes, concebido en su integridad por este pensador, tan brillante como quisquilloso. Tomó la palabra del término griego que significa «piloto, timonel», κυβερνήτης, *cybernetes*, de la que (no por casualidad) deriva también el término *gobernador*.^[8.7] Pensaba que la *cibernética* era un campo que iba a sintetizar el estudio de la comunicación y del control, y también el estudio del ser humano y de la máquina. Norbert Wiener se dio a conocer en primer lugar como un bicho raro: un autómatas, un niño prodigio, dirigido y promovido por su padre, que era catedrático de Harvard. «Un chaval que ha sido orgullosamente calificado por sus amigos como el chico más brillante del mundo», informaba en primera página *The New York Times* cuando tenía catorce años. «Se licenciará el mes que viene en Tufts College [...] Aparte de su extraordinaria capacidad de aprendizaje, Norbert Wiener es como cualquier otro chico [...] Sus intensos ojos negros son el rasgo que más llama la atención en él.»^[8.8] Cuando escribiera sus memorias, siempre utilizaría la palabra «prodigio» en el título: *Ex niño prodigio: Mi infancia y juventud*, y *Soy un matemático: La vida posterior de un niño*

prodigio.

Después de estudiar en Tufts (matemáticas), en la escuela de estudios avanzados de Harvard (zoología), en Cornell (filosofía), y en Harvard otra vez, Wiener se trasladó a Inglaterra, a Cambridge, donde estudio lógica simbólica y los *Principia Mathematica* con el propio Russell. Russell no se sintió lo que se dice encantado con su presencia. «Ha aparecido un niño prodigio llamado Wiener, doctor en filosofía (Harvard), de dieciocho años», decía en una carta a un amigo.^[8.9] «El joven ha sido muy adulado y se cree Dios Todopoderoso; hay una rivalidad constante entre él y yo sobre lo que es enseñar». Por su parte Wiener detestaba a Russell: «Es un iceberg. Su mente impresiona a cualquiera como una máquina lógica afilada, fría y estricta, que corta el universo en paquetitos exactos que midieran, como si dijéramos, siete centímetros y medio cada uno».^[8.10] A su regreso a los Estados Unidos, Wiener entró en la facultad del MIT en 1919, el mismo año que Vannevar Bush. Cuando Shannon llegó allí en 1936, asistió a una de las clases de matemáticas de Wiener. Y cuando se hizo notar la inminencia de la guerra, Wiener fue uno de los primeros en unirse a los equipos clandestinos de matemáticos que trabajaban dispersos por todo el país en perfeccionar el control de fuego de los cañones antiaéreos.

Era bajito y rechoncho, llevaba gafas gruesas y tenía una perilla mefistofélica. Mientras que el trabajo sobre el control de fuego de Shannon profundizó hasta la señal en medio del ruido, Wiener se quedó en el ruido: fluctuaciones que se acumulan en el receptor del radar, desviaciones imprevisibles en la trayectoria de vuelo. El ruido se comportaba estadísticamente, a su juicio, como el movimiento browniano, «el movimiento extremadamente vivo y completamente aleatorio» que había observado Van Leeuwenhoek a través de su microscopio en el siglo XVII. Wiener había emprendido un estudio matemático exhaustivo del movimiento browniano en los años veinte. La simple discontinuidad de este fenómeno lo atraía: no solo las trayectorias de las partículas parecían comportarse de manera anómala, sino también las funciones matemáticas. Se trataba, según decía, de un caos discreto, expresión que tardaría varias generaciones en ser bien entendida. En lo tocante al proyecto de control de fuego, en el que Shannon realizó una modesta contribución para el equipo de los Laboratorios Bell, Wiener y su colega Julian Bigelow publicaron una legendaria monografía de ciento veinte páginas,

clasificada y conocida (por las pocas decenas de personas a las que se permitió verla) como el «Peligro Amarillo», debido al color de su encuadernación y a la dificultad de su contenido. El título formal era *Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series* [«Extrapolación, interpolación y superación de series temporales estacionarias»]. En ella Wiener desarrollaba un método estadístico para predecir el futuro a partir de datos ruidosos, inseguros y corruptos relacionados con el pasado. La obra era demasiado ambiciosa para la maquinaria de artillería existente en ese momento, pero el científico la comprobó en el Analizador Diferencial de Vannevar Bush. Tanto el cañón antiaéreo con su operador, como el avión al que apuntaba con su piloto, eran híbridos de máquina y ser humano. Uno tenía que prever el comportamiento del otro.



Norbert Wiener (1956).

Wiener era tan mundano como Shannon reticente. Había viajado mucho y era un políglota, ambicioso y socialmente consciente de su posición; se tomaba la ciencia de forma personal y apasionada. Su expresión de la segunda ley de la termodinámica, por ejemplo, era todo un grito del corazón:

Vamos nadando contracorriente en un caudaloso río de desorganización, que tiende a reducirlo todo a la muerte térmica de equilibrio y uniformidad [...] Esa muerte térmica de la física tiene su contrapartida en la ética de Kierkegaard, que decía que vivimos en un universo moral caótico. En esto, nuestra principal obligación es establecer enclaves arbitrarios de orden y de sistema [...] Como la Reina Roja, no podemos estarnos quietos y no correr tan deprisa como podamos. [8.11]

Estaba preocupado por su lugar en la historia intelectual, y tenía muchas aspiraciones. La cibernética, decía en sus memorias, suponía «una nueva interpretación del hombre, del conocimiento del universo que tenía el hombre, y de la sociedad». [8.12] Mientras que Shannon se veía a sí mismo como un matemático y un ingeniero, Wiener se consideraba ante todo un filósofo, y de su obra sobre el control de fuego extraía lecciones filosóficas acerca de la intencionalidad y la conducta. Si se define inteligentemente la conducta —«cualquier cambio de una entidad respecto a su entorno»—, [8.13] es un término que puede aplicarse tanto a las máquinas como a los animales. La conducta dirigida a un objetivo es intencional, y la intencionalidad puede imputarse a veces más a la máquina que al operador humano: por ejemplo, en el caso de un mecanismo de búsqueda de objetivo. «El término servomecanismo ha sido acuñado precisamente para designar a las máquinas que tienen una conducta intencional intrínseca». La clave era el control o autorregulación.

Para analizarlo como es debido, tomó prestado un oscuro término de la ingeniería eléctrica: la «realimentación» (o retroalimentación), el retorno de energía desde la salida de un circuito hasta su entrada. Cuando la realimentación es positiva, como cuando el sonido de los altavoces es amplificado a través de un micrófono, aumenta de manera violenta fuera de control. Pero cuando la realimentación es negativa —como en el regulador mecánico original de las máquinas de vapor, estudiado por vez primera por James Clerk Maxwell— puede llevar a todo un sistema al equilibrio; sirve como agente de estabilidad. La realimentación puede ser mecánica: cuanto más deprisa gira el regulador de Maxwell, más se extienden sus brazos, y cuando más se extienden sus brazos, más despacio tiene que girar. O puede ser eléctrica. De un modo u otro, la clave del proceso es la información. Lo que regula el cañón antiaéreo, por ejemplo, es la información acerca de las coordenadas del avión y acerca de la posición

anterior del propio cañón. Bigelow, el amigo de Wiener, lo ponía de relieve: «Que no era una cosa física en concreto, como la energía, la longitud o el voltaje, sino solo información (transmitida por cualquier medio)».^[8.14]

La realimentación negativa debe ser ubicua, pensaba Wiener. Él la veía en acción en la coordinación de la vista y la mano, guiando el sistema nervioso de una persona que ejecuta una acción tan corriente como coger un lápiz. Se centraba sobre todo en los trastornos neurológicos, esto es en las enfermedades que perturban la coordinación física o el lenguaje. Los consideraba específicamente casos de realimentación de información fallida: ciertas variedades de ataxia, por ejemplo, en las que los mensajes sensoriales son interrumpidos en la médula espinal o malinterpretados en el cerebelo. Su análisis era detallado y matemático, con ecuaciones casi inauditas en el campo de la neurología. Mientras tanto, los sistemas de control de la realimentación se introducían también en las cadenas de montaje de las fábricas, pues incluso un sistema mecánico puede modificar su conducta. La realimentación es el regulador, el gobernador, el timonel.

De ese modo *Cibernética* se convirtió en el título del primer libro de Wiener, publicado en el otoño de 1948 en los Estados Unidos y en Francia. El subtítulo decía: *Control y comunicación en animales y en máquinas*. El libro es una mezcla de ideas y análisis y, para sorpresa de sus editores, se convirtió en el éxito de ventas del año. Las populares revistas norteamericanas *Time* y *Newsweek* se ocuparon de él. Wiener y la cibernética fueron identificados con un fenómeno que estaba abriéndose camino en la conciencia popular justo en ese momento: el de las máquinas computadoras. Con el final de la guerra se había levantado el velo que cubría los primeros proyectos urgentes de cálculo electrónico, particularmente el ENIAC (siglas en inglés de *Electronical Numerical Integrator and Computer*, «Computador e Integrador Numérico Electrónico»), un monstruo de tubos de vacío, relés y cables soldados a mano, de veinticinco metros de longitud y treinta toneladas de peso, desarrollado en la escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad de Pennsylvania. Podía almacenar y multiplicar hasta veinte números de diez decimales; el ejército lo utilizaba para calcular tablas de fuego para la artillería. La compañía International Business Machines, IBM, que suministró las máquinas de tarjetas perforadas para los proyectos del ejército, construyó también una gigantesca

calculadora en Harvard, la Mark I. En Gran Bretaña, todavía en secreto, los descifradores de códigos de Bletchley Park habían seguido adelante con su trabajo y habían construido una máquina computadora de tubos de vacío llamada Colossus. Alan Turing había empezado a trabajar en otra en la universidad de Manchester. Cuando la opinión pública se enteró de la existencia de estas máquinas, pensó naturalmente que eran «cerebros». Todo el mundo se planteaba la misma pregunta: ¿Pueden pensar las máquinas?

«Crecen con una rapidez temible», afirmaba *Time* en su último número del año. «Empezaron resolviendo ecuaciones matemáticas con la rapidez del rayo. Ahora empiezan a actuar como auténticos cerebros mecánicos.»^[8.15] Wiener fomentaba la especulación, cuando no la fantasía más descabellada:

El doctor Wiener no ve ningún motivo para que no puedan aprender de la experiencia, como monstruosos niños precoces que rivalizan en la escuela primaria. Un cerebro mecánico de ese estilo, con la madurez de la experiencia almacenada, podría dirigir toda una industria, sustituyendo no solo a la maquinaria y a los trabajadores, sino también a muchos ejecutivos...

Cuanto mejores máquinas calculadoras construyen los hombres, explica Wiener, y cuanto más estudian estos su propio cerebro, más se parecen unas y otros. El hombre, a su juicio, se recrea a sí mismo, magnificado monstruosamente, a su imagen y semejanza.

Buena parte del éxito de su libro, a pesar de lo abstruso y lo poco atractivo que era, se debía al hecho de que Wiener centrara una y otra vez su interés en el hombre, y no en la máquina. No estaba interesado tanto en arrojar luz sobre el advenimiento de la computación —con la que, en cualquier caso, su relación era muy periférica— cuanto en ilustrar la manera en que la computación podía arrojar luz sobre los seres humanos. Resultaba que estaba profundamente preocupado por comprender los trastornos mentales, por las prótesis mecánicas, y por las dislocaciones sociales que podían derivarse de la aparición de una maquinaria inteligente. Le preocupaba que esta pudiera devaluar el cerebro humano como las máquinas de las fábricas habían devaluado la mano del hombre.

Desarrollaba una serie de analogías entre el hombre y la máquina en un capítulo titulado «Las máquinas computadoras y el sistema nervioso». Primero

establecía una distinción entre dos tipos de máquinas computadoras: las analógicas y las digitales, aunque todavía no utilizara estos términos. El primer tipo, como el Analizador Diferencial de Bush, presentaba los números como medidas en una escala continua; eran máquinas analógicas. El otro tipo, que él llamaba máquinas numéricas, presentaba los números de manera directa y exacta, como lo hacían las calculadoras de sobremesa. Idealmente estos aparatos debían usar un sistema numérico binario en aras de la sencillez. Para cálculos más avanzados tendrían que emplear alguna forma de lógica. Pero ¿qué forma? Shannon había respondido a esa pregunta en su tesis doctoral de 1937, y Wiener daba ahora la misma respuesta:

El álgebra de la lógica por excelencia, o álgebra booleanas. Este algoritmo, como la aritmética binaria, se basa en la dicotomía, en la elección entre *sí* y *no*, la elección entre estar dentro de una clase o fuera de ella.^[8.16]

También el cerebro, sostenía, es, en parte al menos, una máquina lógica. Allí donde las computadoras utilizan relés —mecánicos, electromecánicos, o puramente eléctricos—, el cerebro tiene neuronas. En un momento dado estas células tienden a estar en uno de dos estados posibles: o en activo o en reposo. Por lo tanto, pueden ser consideradas relés provistos de dos estados. Están conectadas entre sí de muchas formas, a través de puntos de contacto llamados sinapsis. Transmiten mensajes. Y para almacenar los mensajes, el cerebro tiene memoria; también las computadoras necesitan un almacenamiento físico que podemos llamar memoria. (Wiener sabía muy bien que estaba dando una imagen simplificada de un sistema complejo, que, al parecer, otros tipos de mensajes, más analógicos que digitales, eran transmitidos químicamente por las hormonas). Wiener sugería también que algunos trastornos funcionales como las «crisis nerviosas o ataques de nervios» podían tener parientes en el campo de la electrónica. Los diseñadores de computadoras podían tener necesidad de prever avalanchas inoportunas de datos, quizá el equivalente de los «problemas de tráfico y de sobrecarga en el sistema nervioso».^[8.17]

Los cerebros y las computadoras electrónicas utilizan grandes cantidades de energía a la hora de llevar a cabo su trabajo de lógica, «la totalidad del cual se malgasta y se derrocha con el calor», encargándose de quitarlo de en medio la

sangre o los aparatos de ventilación y refrigeración. Pero todo esto está fuera de lugar, decía Wiener. «La información es información, no materia ni energía. Ningún materialismo que no admita este hecho puede sobrevivir en la actualidad».

Y ahora llegaba el momento del entusiasmo.

«Ahora estamos de nuevo en uno de esos períodos prodigiosos de progreso científico, a su manera semejante al período presocrático», afirmaba en tono gnómico el neurofisiólogo de barba blanca Warren McCulloch en un congreso de filósofos británicos. Les decía que escuchar a Wiener y a Von Neumann le hacía pensar en los debates de los antiguos. Había nacido una nueva física de la comunicación, decía, y la metafísica ya no sería nunca la misma: «Por primera vez en la historia de la ciencia sabemos cómo conocemos y por lo tanto somos capaces de expresarlo claramente».^[8.18] Regaló a su audiencia una herejía al decir que el conocedor era una máquina computadora, el cerebro compuesto de relés, quizá diez mil millones de relés, cada uno de los cuales recibía señales de otros relés y a su vez las enviaba. Las señales están cuantificadas: o se dan o no se dan. Así pues, una vez más, la materia del mundo, decía, resulta que son los átomos de Demócrito, «elementos indivisibles, últimos, que andan palpitando en el vacío».

Es un mundo que para Heráclito está siempre «en movimiento». No quiero decir simplemente que cada relé es destruido y recreado momentáneamente como una llama; lo que quiero decir es que su tarea tiene que ver con una información que llega a él por muchos canales, pasa por él, se arremolina en su interior y emerge de nuevo en el mundo.

El hecho de que estas ideas desbordaran las fronteras interdisciplinarias se debió en gran medida a la labor de McCulloch, toda una fuerza activa del eclecticismo y de la fertilización híbrida. Poco después de que acabara la guerra McCulloch empezó a organizar una serie de conferencias en el Beekman Hotel de la Park Avenue de Nueva York, con dinero proporcionado por la Josiah Macy Jr. Foundation, creada en el siglo XIX por los herederos de unos balleneros de Natucket. De repente alcanzaron su mayoría de edad un sinfín de ciencias —las

llamadas ciencias sociales, como la antropología y la psicología, deseosas de encontrar una nueva justificación matemática; ramas de la medicina con nombres híbridos, como la neurofisiología; o ciencias no del todo científicas como el psicoanálisis— y McCulloch invitó a expertos de todos estos campos, así como a especialistas en matemáticas e ingeniería eléctrica. Creó una especie de arca de Noé, invitando a una pareja de cada especie, de modo que los conferenciantes pudieran tener presente siempre a alguien que entendiera su jerga.^[8.19] Entre los que formaban el núcleo del grupo estaban la antropóloga Margaret Mead, ya famosa, y el que entonces era su marido, Gregory Bateson, los psicólogos Lawrence K. Frank y Heinrich Klüver, y aquella formidable pareja de matemáticos, y a veces rivales, Wiener y Von Neumann.

Mead, que redactaba las actas en una especie de taquigrafía que nadie más podía leer, dijo que se rompió un diente debido a la excitación que sintió durante la primera conferencia y que no se dio cuenta de lo que le había pasado hasta más tarde. Wiener les dijo que todas aquellas ciencias, especialmente las ciencias sociales, eran fundamentalmente el estudio de la comunicación, y que la idea que las unificaba a todas era el *mensaje*.^[8.20] Los encuentros empezaron llevando el complicado nombre de Conferencias sobre Mecanismos Causales Circulares y de Realimentación en los Sistemas Biológicos y Sociales y luego, por deferencia con Wiener, de cuya nueva fama disfrutaban, pasaron a llamarse Conferencia sobre Cibernética. Durante todas las conferencias se hizo habitual emplear una nueva expresión, rara y ligeramente sospechosa, a saber *teoría de la información*. Algunas disciplinas resultaban más cómodas que otras. Distaba mucho de estar claro dónde encajaba la información en sus respectivas cosmovisiones.

El congreso de 1950, celebrado el 22 y 23 de marzo, empezó sin que las cosas estuvieran muy claras. «El tema y el grupo han provocado una cantidad tremenda de interés externo», decía Ralph Gerard, un neurocientífico de la escuela de medicina de la Universidad de Chicago, «casi hasta el punto de convertirse en una moda nacional. Han dado lugar a la aparición de numerosos artículos en revistas científicas tan conocidas como *Time*, *News Week* y *Life*». ^[8.21] Se refería, entre otros, al artículo de portada de *Time* aparecido a comienzos de aquel invierno titulado «La Máquina Pensante», en el que se hablaba de Wiener:

El profesor Wiener es un petrel (aunque se parece más a un frailecillo) de las matemáticas y territorios adyacentes [...] Las nuevas grandes computadoras, exclamaba Wiener con una mezcla de alarma y entusiasmo, son [...] heraldos de toda una nueva ciencia de la comunicación y del control, que inmediatamente denominó «cibernética». Las máquinas más modernas, señalaba Wiener, guardan ya un extraordinario parecido con el cerebro humano, tanto en su estructura como en su función. De momento, no tienen sentidos o «efectores» (brazos y piernas), pero ¿por qué no iban a tenerlos?

Bien es verdad, decía Gerard, que su especialidad se hallaba profundamente afectada por las nuevas formas de pensamiento surgidas de la ingeniería de las comunicaciones, que las llevaba a concebir un impulso nervioso no ya como un «fenómeno físico-químico», sino como un signo o señal. Así pues, resultaba muy útil aprender de las «máquinas calculadoras y de los sistemas de comunicaciones», aunque también fuera peligroso.

Decir, como dice la prensa, que por lo tanto estas máquinas son cerebros y que nuestros cerebros no son más que máquinas calculadoras, es una presunción. Podríamos decir también que el telescopio es un ojo o que la excavadora es un músculo.^[8.22]

Wiener pensó que tenía que contestarle. «No he podido impedir la aparición de esos informes», decía, «pero he intentado hacer que las publicaciones mostraran un poco de moderación. Sin embargo, no creo que el empleo que se hace en ellas de la palabra “pensante” sea reprobable».^(8.23-24)

El objetivo fundamental de Gerard era hablar de si el cerebro, con su misteriosa arquitectura de neuronas, árboles ramificados de dendritas, y complejas intercomunicaciones viviendo en una sopa química, podía describirse propiamente con los adjetivos analógico o digital.^[8.25] A continuación intervino inmediatamente Gregory Bateson: seguía considerando confusa esta distinción. Se trataba de una cuestión básica. Gerard debía su interpretación a «la experta guía que he recibido aquí ante todo de John von Neumann» —al que tenía a su lado—, pero él lo intentaba de todas maneras. Analógica es una regla de cálculo en la que el número es representado como una distancia; digital es un ábaco, en el que una bola se cuenta o no se cuenta; y entre medias no hay nada más. Un reóstato —regulador de luz— es analógico; un interruptor de pared que se

enciende y se apaga es digital. Las ondas cerebrales y la química neuronal, decía Gerard, son analógicas.

Se desató entonces una gran discusión. Von Neumann tenía mucho que decir. Últimamente había estado desarrollando una «teoría de juegos», que de hecho él veía como una matemática de la información incompleta. Estaba poniéndose a la cabeza del diseño de una arquitectura de las nuevas computadoras electrónicas. Deseaba que los miembros del grupo que tenían una mentalidad más analógica pensarán de manera más abstracta, esto es que reconocieran que los procesos digitales se producen en un mundo caótico continuo, aunque no por ello dejan de ser digitales. Cuando una neurona salta de un posible estado a otro —«del estado de célula nerviosa sin mensaje en su interior al estado de célula con mensaje dentro»—,^[8.26] la química de esa transición puede tener matices intermedios, pero desde una perspectiva teórica dichos matices pueden ser pasados por alto. En el cerebro, postulaba, lo mismo que en una computadora hecha de tubos de vacío, «esas acciones discretas se ven estimuladas en realidad en un trasfondo de procesos continuos». McCulloch acababa de decir eso mismo con toda claridad en un nuevo artículo titulado «De las computadoras digitales llamadas cerebros»: «En este mundo parece que lo mejor es tratar incluso las continuidades aparentes como unos números de pequeños pasos».^[8.27] En medio del público guardaba silencio el nuevo integrante del grupo, Claude Shannon.

El siguiente conferenciante fue J. C. R. Licklider, experto en habla y sonido del nuevo Laboratorio Psico-acústico de Harvard, conocido por todos como Lick. Era otro científico joven con los pies en dos mundos distintos, en parte psicólogo y en parte ingeniero eléctrico. A finales de aquel año se trasladó al MIT, donde estableció una nueva sección de psicología dentro del departamento de ingeniería eléctrica. Estaba trabajando en una idea para cuantificar el habla, consistente en tomar las ondas sonoras de la lengua y reducirlas a las cantidades mínimas que pudieran ser reproducidas por un «circuito biestable», un artilugio casero hecho con veinticinco dólares de tubos de vacío, resistores y condensadores.^[8.28] Resultaba sorprendente —incluso para personas acostumbradas a los chisporroteos y pitidos del teléfono— hasta qué punto podía reducirse el habla, sin dejar de ser inteligible. Shannon escuchó atentamente, no solo porque conocía la ingeniería telefónica relevante, sino porque había tratado

esas cuestiones en el trabajo secreto que había llevado a cabo durante la guerra acerca de la encriptación acústica. También Wiener se animó, en parte debido a su interés especial por los audífonos.

Cuando Licklider dijo que algunas distorsiones no eran ni lineales ni logarítmicas, sino «intermedias», Wiener lo interrumpió.

«¿Qué quiere decir “intermedias”? ¿ X más S elevado a N ?»

Licklider suspiró. «¡Los matemáticos siempre igual! Aferrándose a las afirmaciones inexactas.»^[8.29] Pero no tenía problemas con las matemáticas y a continuación presentó un cálculo de cuánta información —utilizando la nueva terminología de Shannon— podía ser enviada por una línea de transmisión, teniendo en cuenta un determinado ancho de banda (5.000 ciclos) y una determinada relación señal/ruido (33 decibelios), cifras que eran realistas para la radio comercial. «Creo que a través de un canal de comunicación semejante pueden transmitirse por lo que parece 100.000 bits de información» (quería decir bits por segundo). Era una cifra asombrosa; en comparación, calculaba la velocidad del habla humana corriente de la siguiente manera: diez fonemas por segundo, seleccionados entre un vocabulario de sesenta y cuatro fonemas (2^6 , «para ponerlo fácil», el logaritmo del número de opciones es 6), es decir una velocidad de sesenta bits por segundo. «Esto supone que los fonemas tienen todos la misma probabilidad...»

«¡Sí!», le interrumpió Wiener.^[8.30]

«Y por supuesto no la tienen».

Wiener se preguntaba si alguien habría intentado efectuar un cálculo similar de «compresión de la vista» para la televisión. ¿Cuánta «información real» es necesaria para la inteligibilidad? Aunque de paso añadía: «A menudo me pregunto por qué la gente quiere ver la televisión».

Margaret Mead tenía una cuestión distinta que plantear. No quería que el grupo olvidara que el significado puede existir al margen de los fonemas y las definiciones del diccionario. «Si hablamos de otra clase de información», decía, «si intentamos comunicar el hecho de que alguien está enfadado, ¿qué clase de distorsión habrá que introducir para captar la cólera a partir de un mensaje que, por lo demás, llevaría exactamente las mismas palabras?»^[8.31]

Aquella noche Shannon salió a la palestra. No había que preocuparse del significado, dijo. Declaró que, aunque su tema de estudio era la redundancia del inglés escrito, no iba a interesarse en absoluto por el *significado*.

Habló de la información como de algo transmitido desde un lugar a otro: «Podría ser, por ejemplo, una secuencia aleatoria de dígitos, o podría ser información para un misil teledirigido o para una señal de televisión».^[8.32] Lo que importaba era que iba a presentar la fuente de información como un proceso estadístico, generando mensajes con diversos grados de probabilidad. Les mostró las muestras de cadenas de texto que había utilizado en *La Teoría Matemática de la Comunicación* —que pocos de los presentes habían leído— y describió su «experimento de la predicción», en el que el sujeto conjetura un texto letra a letra. Dijo que el inglés tiene una *entropía* específica, una cantidad en correlación con la redundancia, y que podía utilizar esos experimentos para calcular su número. El público estaba fascinado, y en particular Wiener, que no hacía más que pensar en su propia «teoría de la predicción».

«Mi método tiene cierto paralelismo con este», dijo Wiener tomando la palabra de forma intempestiva. «Y perdone la interrupción».

Había una diferencia de énfasis entre Shannon y Wiener. Para Wiener la entropía era una marca de desorden; para Shannon, era una marca de incertidumbre. Fundamentalmente, como fue haciéndose patente, ambas cosas eran lo mismo. Cuanto más inherente es el orden existente en una muestra de texto inglés —orden en la forma de los patrones estadísticos, conocidos consciente o inconscientemente por los hablantes de la lengua—, más previsible será y, en términos de Shannon, menos información será transmitida por cada letra. Cuando el sujeto conjetura la siguiente letra con seguridad, es redundante, y la aparición de la letra no aporta una mayor cantidad de información. La información es sorpresa.

El resto de los presentes tenía infinitas preguntas que plantear acerca de otras lenguas, otros estilos de prosa, la escritura ideográfica y los fonemas. Un psicólogo preguntó si la escritura periodística iba a resultar distinta estadísticamente de la obra de James Joyce. Leonard Savage, un especialista en estadística que trabajaba con Von Neumann, preguntó cómo había elegido

Shannon un libro para hacer su prueba. ¿Al azar?

«Simplemente me acerqué a la estantería y cogí uno».

«Yo a eso no lo llamaría al azar, ¿y usted?», dijo Savage. «Se corría el riesgo de que el libro fuera de ingeniería.»^[8.33] Shannon no explicó que en realidad el libro había sido una novela policíaca.

Otra persona quiso saber si Shannon podía decir si el parloteo de los niños era más o menos previsible que el discurso de un adulto.

«Yo creo que es más previsible», respondió, «si está usted familiarizado con el niño».

El inglés es en realidad muchas lenguas distintas —tantas quizá como hablantes de inglés hay—, y cada una tiene estadísticas distintas. Genera asimismo dialectos artificiales: la lengua de la lógica simbólica, con su alfabeto restringido y preciso, y la lengua que uno de los asistentes que lo interpeló llamó «aviónica», empleada por las torres de control y los pilotos. Y además la lengua está en constante proceso de cambio. Heinz von Foerster, joven físico originario de Viena y uno de los primeros acólitos de Wittgenstein, se preguntó cómo podía cambiar el grado de redundancia de una lengua a medida que cambiaba la lengua, y especialmente en el paso de la cultura oral a la cultura escrita.

Von Foerster, al igual que Margaret Mead y otros, no se sentía cómodo con la idea de información sin significado. «Yo habría deseado llamar teoría de la *señal* a todo lo que ellos llamaban teoría de la información», diría más tarde, «pues en aquello todavía no había información. En el momento en que uno transforma el conjunto de señales en otras señales que nuestro cerebro puede comprender, *entonces* surge la información; la información no está en los ruidos».^[8.34] Pero de pronto se vio a sí mismo reflexionando sobre la esencia del lenguaje, y su historia en la mente y en la cultura de una forma completamente nueva. Al principio, indicaba, nadie es consciente de que las letras o los fonemas sean las unidades básicas de la lengua.

Pienso en los antiguos textos mayas, en los jeroglíficos de los egipcios o en las tablillas sumerias del primer período. Durante el desarrollo de la escritura se necesita una cantidad considerable de tiempo —o un accidente— para reconocer que una lengua puede dividirse en unidades más pequeñas que las palabras, por ejemplo sílabas o letras. Tengo la sensación de que entre la escritura y el habla se da una realimentación.^[8.35]

El debate le hizo cambiar de idea respecto al papel central de la información. Y añadió un comentario epigramático a las notas que tomó en la octava conferencia: «La información puede ser concebida como el orden extraído del desorden».^[8.36]

Por más que se esforzara Shannon en que sus oyentes fijaran su atención solo en su definición de una información pura, carente de significado, aquel era un grupo que no sabría salir de los enredos semánticos. No tardaron en entender las ideas esenciales de Shannon, pero enseguida se pusieron a hacer especulaciones que se apartaban muchísimo de ellas. «Si pudiéramos ponernos de acuerdo a la hora de definir la información como algo que cambia las probabilidades y reduce las incertidumbres», comentaba Alex Bavelas, especialista en psicología social, «los cambios en la seguridad emocional podrían verse con bastante facilidad bajo ese prisma». ¿Y qué decir de los gestos o las expresiones del rostro, las palmaditas en la espalda o los guiños a la persona que tenemos enfrente? Cuando los psicólogos absorbieron esta forma artificial de pensar en las señales y el cerebro, toda su disciplina se vio al borde de una transformación radical.

El neurocientífico Ralph Gerard recordaba una anécdota. Un extraño asiste a una fiesta en la que todos se conocen perfectamente. Uno dice: «Setenta y dos», y todos los demás se echan a reír. Otro dice: «Veintinueve», y toda la concurrencia se parte de risa. El extraño pregunta qué es lo que pasa.

El que tiene al lado le dice: «Es que tenemos muchos chistes y nos los hemos contado tantas veces que ahora simplemente decimos un número». El intruso decide probar suerte y después de pronunciar unas cuantas palabras, dice: «Sesenta y tres». La reacción es bastante tibia. «¿Qué pasa?», pregunta. «¿Acaso no es un chiste?».

«Sí, sí, es uno de los mejores, pero no lo has contado demasiado bien.»^[8.37]

Al año siguiente Shannon volvió con un robot. No era un robot demasiado inteligente ni tenía una apariencia muy natural, pero impresionó al grupo de cibernéticos. Sabía encontrar la salida de un laberinto. Lo llamaron el ratón de Shannon.

Trajo también una caja que en su parte superior tenía una rejilla de cinco por

cinco. Podían colocarse tabiques en las veinticinco casillas para crear un laberinto de distintas formas y configuraciones. Y podía colocarse una chincheta en cualquiera de los cuadros para que sirviera de meta; además, por el laberinto se desplazaba una varilla o sensor movido por un par de motorcitos, uno para la dirección este-oeste y otro para la dirección norte-sur. Debajo de la tapa había un montón de relés eléctricos, unos setenta y cinco, conectados entre sí, que se encendían y apagaban formando la «memoria» del robot. Shannon accionó el conmutador y lo puso en marcha.

«Cuando se apaga la máquina la última vez», dijo, «fundamentalmente los relés se olvidan de todo lo que sabían, de manera que a continuación empiezan de nuevo, sin tener conocimiento alguno del laberinto».^[8.38] Sus oyentes estaban cautivados. «Ahora ven ustedes cómo la varilla va explorando el laberinto, buscando la meta. Cuando llega al centro de una casilla, la máquina toma una nueva decisión sobre la dirección que va a probar». Cuando la varita chocaba con un tabique, los motores daban marcha atrás y los relés registraban lo ocurrido. La máquina tomaba cada «decisión» basándose en sus «conocimientos» previos —resultaba imposible evitar estos términos psicológicos— según la estrategia diseñada por Shannon. Se movía por el espacio según el método de prueba y error, esquivando los callejones sin salida y chocando contra las paredes. Por último, como todos pudieron comprobar, el ratón encontró la meta, sonó una campana, se encendió una bombilla, y los motores se apagaron.

Entonces Shannon volvió a poner al ratón en el punto de partida para que empezara otra carrera. En esta ocasión fue directamente a la meta sin hacer giros equivocados ni chocar con los tabiques. Había «aprendido». Situado en otras partes del laberinto todavía sin explorar, volvía al método de prueba y error hasta que por fin «crea un patrón entero de información y es capaz de llegar a la meta directamente desde cualquier punto».^[8.39]

Para llevar a cabo las tareas de exploración y búsqueda de la meta, la máquina tenía que almacenar un poco de información por cada casilla que visitaba: concretamente, la dirección por la que había salido de ella. Solo había cuatro posibilidades —norte, sur, este y oeste—, de modo que, como Shannon se encargó de explicar cuidadosamente, a cada casilla habían sido asignados dos relés a modo de memoria. Dos relés significaban dos unidades (bits) de

información, suficientes para efectuar una opción entre cuatro alternativas, puesto que había cuatro estados posibles: apagado-apagado, apagado-encendido, encendido-apagado y encendido-encendido.

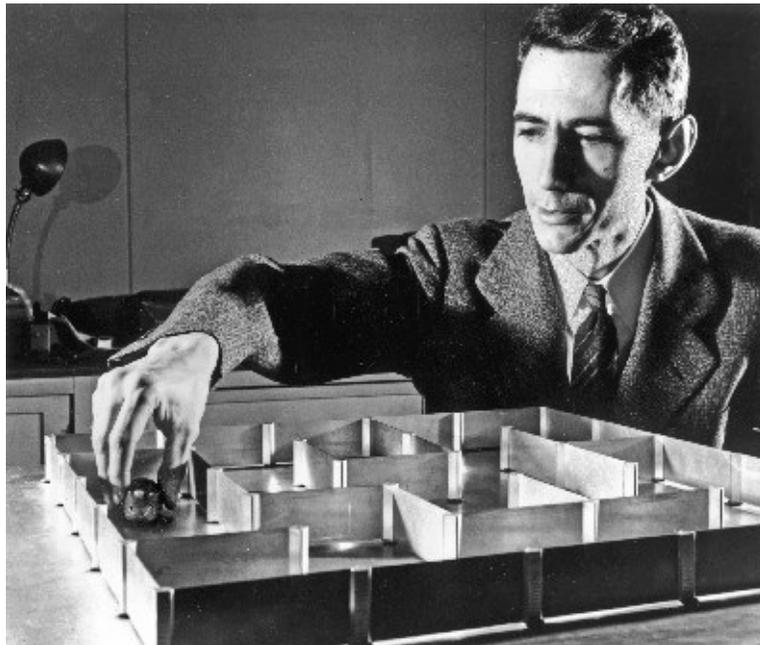
A continuación Shannon reorganizó los tabiques para que ya no fuera válida la antigua solución. La máquina iría «buscando a tientas» hasta encontrar una nueva solución. A veces, sin embargo, una combinación particularmente complicada de memoria acumulada y de nuevo laberinto llevaba a la máquina a un callejón sin salida. Y se lo demostró a su audiencia: «Cuando [el ratón] llega a A, recuerda que la vieja solución decía que había que ir a B, así que recorre todo el círculo, A, B, C, D, A, B, C, D. Se ha creado un círculo vicioso». ^[8.40]

«¡Una neurosis!», exclamó Ralph Gerard.

«Un circuito antineurótico», añadió Shannon: un contador, programado para salir del círculo vicioso cuando la máquina repitiera la misma secuencia seis veces. Leonard Savage pensaba que era una pequeña trampa. «¿No tiene forma de reconocer que es una locura? ¿Simplemente reconoce que ha andado dando vueltas demasiado tiempo?». Shannon asintió.

«Es demasiado humano», comentó Lawrence K. Frank.

«Debería verlo George Orwell», dijo el psiquiatra Henry Brosin.



Shannon y su laberinto.

Una característica de la forma en que Shannon había organizado la memoria de la máquina —asociando una sola dirección con cada casilla— era que no se podía dar media vuelta. Una vez alcanzada la meta, la máquina no «sabía» cómo regresar al punto de partida. El conocimiento, de hecho, surgía de lo que Shannon llamaba el campo vectorial, la totalidad de los veinticinco vectores direccionales. «No se puede decir de dónde sale el sensor estudiando la memoria», comentó.

«Como un hombre que se conoce la ciudad», dijo McCulloch, «que es capaz de ir de un sitio cualquiera a otro, pero no siempre se acuerda de cómo fue».^[8.41]

El ratón de Shannon era afín a la bailarina de plata de Babbage y a los cisnes y los peces de metal del Museo Mecánico de Merlin: autómatas que ejecutaban una simulación de vida. Nunca dejaban de asombrar y de entretener. La aurora de la era de la información trajo consigo toda una nueva generación de ratones, escarabajos y tortugas sintéticas, todos ellos hechos de tubos de vacío y luego de transistores. Eran toscos, casi banales, según los patrones que se impondrían apenas unos años después. En el caso del ratón, la memoria total de la criatura era de setenta y cinco bits. Pero Shannon podía afirmar y con razón que resolvía un problema por el método de prueba y error; guardaba la solución y la repetía sin errores; integraba nueva información a partir de ulteriores experiencias; y «olvidaba» la solución cuando cambiaban las circunstancias. La máquina no solo imitaba el comportamiento del natural, sino que realizaba funciones hasta entonces reservadas al cerebro.

Un crítico, Dennis Gabor, ingeniero eléctrico húngaro que luego ganaría el premio Nobel como inventor de la holografía, planteó una queja: «En realidad es el laberinto el que se acuerda, no el ratón».^[8.42] Era verdad hasta cierto punto. Al fin y al cabo no había ningún ratón. Los relés eléctricos podían haber sido colocados en cualquier sitio y habrían guardado la memoria. De hecho se convertían en un modelo mental del laberinto, en una *teoría* del laberinto.

Los Estados Unidos de posguerra no eran el único país en el que biólogos y neurocientíficos hicieron de repente causa común con los matemáticos y los ingenieros eléctricos, aunque los americanos hablaran a veces como si así fuera. Wiener, que incluye un relato más o menos extenso de sus viajes a otros países

en la introducción a su *Cibernética*, comenta despectivamente que en Inglaterra había conocido a unos investigadores que estaban «bien informados», aunque no se habían hecho muchos progresos «para unificar el tema y fusionar las distintas líneas de investigación».^[8.43] En 1949 empezaron a converger nuevos equipos de científicos británicos como reacción a la teoría de la información y a la cibernética, en su mayoría jóvenes, con experiencia recién adquirida en materia de desciframiento de códigos, radares y control de fuego. Una de sus ideas fue formar un club a la típica manera de los ingleses, «con admisión restringida y reuniones de sobremesa», a propuesta de John Bates, pionero en el campo de la electroencefalografía. Fue necesaria una dosis considerable de discusión para decidir el nombre, las normas de admisión, la sede de la asociación, y el emblema. Bates quería a biólogos con tendencias favorables a la electricidad y a ingenieros orientados hacia la biología, y sugirió que el club estuviera formado por «unas quince personas que tuvieran ya las ideas de Wiener antes de que apareciera su libro».^[8.44] Se reunieron por primera vez en el sótano del National Hospital for Nervous Diseases, en Bloomsbury, y decidieron llamarse el Ratio Club, nombre que podía significar lo que cada uno quisiera. (Sus cronistas, Philip Husbands y Owen Holland, que entrevistaron a muchos de los socios que aún sobreviven, señalan que la mitad pronunciaban el nombre «Ray-shi-oo» y la otra mitad «RAT-i-oo».)^[8.45] A la primera reunión invitaron a Warren McCulloch.

Hablaron no solo de comprender los cerebros, sino de «diseñarlos». Un psiquiatra, W. Ross Ashby, declaró que estaba trabajando sobre la idea de que «un cerebro consistente en sinapsis de impresiones conectadas aleatoriamente asumiera el grado necesario de disciplina como resultado de la experiencia»:^[8.46] en otras palabras, postulaba que la mente es un sistema dinámico con capacidad de organizarse a sí mismo. Otros querían hablar de reconocimiento de patrones, del ruido en el sistema nervioso, de ajedrez robótico y de la posibilidad de autoconciencia mecánica. McCulloch se manifestó en los siguientes términos: «Piénsese en el cerebro como un relé telegráfico, que, activado por una señal, emite otra señal».^[8.47] Los relés habían avanzado mucho desde los tiempos de Morse. «De los sucesos moleculares de los cerebros esas señales son los átomos. Y cada uno de ellos va o no va». La unidad fundamental es una oposición, una opción, pero además es una opción binaria. «Es el mínimo suceso que puede ser

verdadero o falso».

Lograron atraer también a Alan Turing, que publicó su propio manifiesto con una frase inicial provocativa —«Yo propongo estudiar la siguiente cuestión: “¿Pueden pensar las máquinas?”»—, ^[8.48] seguida del reconocimiento malicioso de que iba a emprender dicho estudio sin ni siquiera intentar definir los términos *máquina* y *pensar*. Su idea era sustituir la pregunta por una prueba llamada el Juego de Imitación, destinado a convertirse en el famoso «Test de Turing». En su forma inicial, el Juego de Imitación preveía la presencia de tres personas: un hombre, una mujer, y un interrogador. El interrogador se encuentra en una habitación aparte y hace preguntas (idealmente, sugiere Turing, por medio de un «teletipo que mantiene comunicadas las dos habitaciones»). El interrogador pretende determinar cuál es el hombre y cuál es la mujer. Uno de los dos —pongamos por caso el hombre— pretende engañar al interrogador, mientras que el otro intenta ayudarlo a descubrir la verdad. «La mejor estrategia para la mujer probablemente sea dar respuestas verdaderas», sugiere Turing. «Puede añadir comentarios como, por ejemplo: “¡Yo soy la mujer, no le haga caso!”», pero no servirán de nada, pues el hombre puede hacer afirmaciones parecidas».

Pero ¿y si la pregunta no fuera cuál es su sexo, sino cuál es su género, humano o máquina?

Se daba por supuesto que la esencia del ser humano son las «capacidades intelectuales» del individuo; de ahí aquel juego de mensajes incorpóreos transmitido a ciegas de una habitación a otra. «No queremos penalizar a la máquina por su incapacidad de brillar en competiciones de belleza», dice secamente Turing, «ni penalizar al hombre por perder en una carrera contra un aeroplano». Ni, por así decir, por su lentitud en aritmética. Turing plantea algunas preguntas y respuestas imaginarias:

P: Por favor, escríbame un soneto sobre el tema del Puente de Forth.

R: No cuente conmigo para eso. Nunca he podido escribir poesías.

Pero antes de seguir adelante, Turing cree necesario explicar en qué tipo de máquina exactamente está pensando. «El actual interés por las “máquinas pensantes”», señala, «lo ha levantado un tipo especial de máquina, habitualmente llamada “computadora electrónica” o “computadora digital”».

[8.49] Estos aparatos hacen el trabajo de los computadores humanos, más deprisa y de manera más fiable. Turing expresa, como no había hecho Shannon, la naturaleza y las propiedades de la computadora digital. También lo había hecho John von Neumann al construir la máquina sucesora del ENIAC. La computadora digital consta de tres partes: un «almacén de información», correspondiente a la memoria humana o papel de la computadora; una «unidad ejecutiva», que lleva a cabo operaciones individuales; y un «control», que tiene a su cargo una lista de instrucciones, asegurándose de que se lleven a cabo en el orden debido. Estas instrucciones están codificadas en forma de números. A veces se llaman «programa», dice Turing, y la elaboración de una lista semejante puede llamarse «programación».

La idea es bastante «vieja», comenta Turing, y cita a Charles Babbage, al que identifica como titular de la cátedra lucasiana de matemáticas de la Universidad de Cambridge de 1828 a 1839, otrora famosísimo, y hoy casi olvidado. Turing explica que Babbage «tenía todas las ideas fundamentales» y «proyectó un aparato semejante, llamado Máquina Analítica, aunque nunca llegó a verlo terminado». Había utilizado ruedas y tarjetas, es decir, nada que tuviera que ver con la electricidad. La existencia (o no existencia, pero al menos casi existencia) de la máquina de Babbage permitía a Turing rebatir una superstición que, a su juicio, estaba tomando cuerpo en el *Zeitgeist* de 1950. Al parecer, la gente pensaba que la magia de las computadoras digitales era esencialmente eléctrica; por su parte, el sistema nervioso también es eléctrico. Pero a Turing le costaba trabajo concebir la computación como una vía universal, que él veía como una vía abstracta. Sabía que no tenía nada que ver con la electricidad:

Como la máquina de Babbage no era eléctrica y como todas las computadoras digitales son en cierto modo equivalentes, vemos que este uso de la electricidad no puede tener una importancia teórica [...] El hecho de utilizar electricidad se considera, pues, solo un parecido muy superficial. [8.50]

La famosa computadora de Turing era una máquina hecha de lógica: una cinta imaginaria, unos símbolos arbitrarios. Tenía todo el tiempo del mundo y una memoria ilimitada, y podía hacer cualquier cosa que pudiera expresar pasos y operaciones. Podía incluso juzgar la validez de una prueba del sistema de los *Principia Mathematica*. «En caso de que la fórmula no sea ni probable ni

refutable una máquina de este estilo no se comporta desde luego de una manera muy satisfactoria, pues continúa trabajando indefinidamente sin producir resultado alguno, algo que no puede considerarse muy distinto de la reacción que suelen tener los matemáticos.»^[8.51] Por lo tanto Turing suponía que podía jugar el Juego de Imitación.

Por supuesto no podía demostrarlo. Lo que intentaba Turing era principalmente cambiar los términos de un debate que consideraba en gran medida estúpido. Ofreció, eso sí, unas cuantas predicciones válidas para los cincuenta años siguientes: calculaba que las computadoras tendrían una capacidad de almacenamiento de 10^9 bits (imaginaba unos ordenadores enormes; no preveía la existencia de las pequeñísimas máquinas computadoras que podemos ver actualmente por todas partes, con una capacidad de almacenamiento muchas veces mayor); y que podrían ser programadas para jugar el Juego de Imitación lo suficientemente bien como para engañar a algunos interrogadores al menos durante algunos minutos (lo cual es verdad, de momento).

La primitiva cuestión de si una máquina puede pensar o no, es, a mi juicio, tan absurda que no merece ni ser discutida. No obstante, creo que a finales de siglo el uso de las palabras y la opinión culta en general habrán cambiado tanto que podrá hablarse de máquinas pensantes sin esperar que nadie pueda rebatirnos.^[8.52]

No vivió lo suficiente para comprobar lo acertado de su profecía. En 1952 fue detenido por el delito de homosexualidad, juzgado, y condenado, le fue retirada la habilitación de seguridad, y fue sometido por las autoridades británicas a un humillante programa de castración mediante inyecciones de estrógenos. En 1954 se suicidó.

Hasta muchos años después, pocos tuvieron conocimiento de la labor fundamental llevada a cabo en secreto por Turing para su país en el proyecto Enigma de Bletchley Park. Sus ideas acerca de las máquinas pensantes atrajeron la atención de muchos a uno y otro lado del Atlántico. Algunos que consideraron aquel concepto absurdo o incluso aterrador, pidieron a Shannon su opinión: el norteamericano se puso claramente de parte de Turing. «La idea de una máquina pensante no resulta en absoluto repugnante para todos nosotros», dijo Shannon a un ingeniero. «De hecho, la idea contraria, esto es que el cerebro humano puede

ser a su vez una máquina susceptible de ser duplicada funcionalmente por objetos inanimados, a mí me parece muy atractiva.»^[8.53] Mucho más útil en cualquier caso que «hacer hipótesis sobre “fuerzas vitales” o “almas” intangibles e inalcanzables, y cosas por el estilo».

Los estudiosos de las computadoras querían saber qué podían hacer sus máquinas. Y los psicólogos querían saber si los cerebros son computadoras, o quizá si no son *más que* simples computadoras. A mediados de siglo los estudiosos de las computadoras eran una novedad; pero a su manera también lo eran los psicólogos.

A mediados de siglo la psicología estaba moribunda. Entre todas las ciencias es la que siempre ha tenido más dificultad a la hora de decir qué es exactamente lo que estudia. Originalmente su objeto de estudio era el alma, por oposición al cuerpo (somatología) y la sangre (hematología). «La *psicología* es una doctrina que investiga el alma del hombre y sus efectos; esta es la parte sin la cual no puede subsistir el hombre», decía James de Back en el siglo XVII.^[8.54] Aunque, casi por definición, el alma era inefable, algo que casi no se podía conocer. Para complicar aún más las cosas, estaba la confusión (en ningún terreno tanta como en el de la psicología) entre el observador y el objeto observado. En 1854, cuando todavía era más probable que se llamara «filosofía mental», David Brewster se lamentaba de que ningún otro compartimento del saber hubiera hecho tan pocos progresos como «la ciencia de la mente, si es que puede llamarse ciencia».^[8.55]

Considerada material por un investigador, espiritual por otro, y por otros a su vez una misteriosa mezcla de ambas cosas, la mente humana se escapa al conocimiento de los sentidos y de la razón, como un terreno baldío situado en la umbría en el que el primer especulador que pasa echa sus taras mentales.

Los primeros especuladores que pasaban seguían mirando sobre todo hacia dentro, y los límites de la introspección eran evidentes. Deseosos de rigor, verificabilidad, y quizá incluso matematización, los estudiosos de la mente viraron en direcciones radicalmente distintas entre finales del siglo XIX y comienzos del XX. La senda de Sigmund Freud no fue más que una de tantas.

En los Estados Unidos, William James —profesor de los primeros cursos universitarios de la materia, y autor del primer manual global— creó casi él solo una disciplina de psicología, y cuando la hubo creado, se llevó las manos a la cabeza. Sus *Principios de psicología*, escribió, eran un «amasijo repugnante, hinchado, dilatado, tumefacto, hidrónico, que solo viene a atestiguar dos hechos: *Primero*, que no existe ninguna *ciencia* que se llame psicología; y *Segundo*, que William James es un incapaz». [8.56]

En Rusia surgió una nueva corriente de la psicología con un fisiólogo a la cabeza, Ivan Petrovich Pavlov, famoso por su estudio de la digestión, que lo hizo acreedor del Premio Nobel y en el que se burlaba de la palabra *psicología* y toda la terminología asociada con ella. En sus momentos de mejor humor, James consideraba la psicología la ciencia de la vida mental, pero para Pavlov no había mente, solo conducta. Los estados mentales, los pensamientos, las emociones, los objetivos y fines de la persona, eran todas cosas intangibles, subjetivas y fuera del alcance de la mano. Tenían tintes de religión y de superstición. Lo que James había identificado como temas fundamentales —«la corriente de pensamiento», «la conciencia de uno mismo», la percepción del tiempo y el espacio, la imaginación, el razonamiento, y la voluntad— no tenían cabida en el laboratorio de Pavlov. Todo lo que podía observar un científico era la conducta, y esta, cuando menos, podía ser registrada y medida. Los conductistas, en particular John B. Watson en los Estados Unidos y luego el más famoso de todos ellos, B. F. Skinner, crearon una ciencia basada en el estímulo y la respuesta: comida en píldoras, campanas, electroshock, salivación, activación de palanca, búsqueda de la salida del laberinto. Watson afirmaba que la finalidad de la psicología no era ni más ni menos que predecir qué respuestas iban a seguir a un determinado estímulo y qué estímulos podían producir una determinada conducta. Entre el estímulo y la respuesta había una caja negra que se sabía que estaba compuesta por los órganos sensoriales, circuitos neuronales, y funciones motrices, pero que estaba fundamentalmente delimitada. En realidad, los conductistas venían a decir una vez más que el alma es inefable. Durante medio siglo, su programa de investigación floreció porque producía resultados en materia de reflejos condicionados y de control de la conducta.

Lo que decían los conductistas, como afirmarían luego el psicólogo George Miller, era lo siguiente: «Vosotros habláis de memoria; habláis de anticipación;

habláis de vuestras sensaciones; habláis de todas esas cosas mentales. Todo eso son pamplinas. Mostradme una; señaladme una».^[8.57] Podían enseñar a las palomas a jugar al ping-pong y a los ratones a encontrar la salida de un laberinto. Pero a mediados de siglo, la frustración había empezado. La pureza de los conductistas se había convertido en un dogma; su negativa a tener en cuenta los estados mentales se había convertido en una jaula, y los psicólogos seguían queriendo entender lo que era la mente.

La teoría de la información les ofrecía una salida. Los científicos analizaban el procesamiento de la información y construían máquinas capaces de hacerlo. Las máquinas tenían memoria. Estimulaban el aprendizaje y la búsqueda de objetivos. Un conductista que obligara a un ratón a correr por un laberinto discutiría la asociación entre estímulo y respuesta, pero se negaría en absoluto a especular acerca de la *mente* del ratón; ahora los ingenieros construían modelos de la mente de un ratón a partir de unos cuantos relés eléctricos. No abrían la caja negra simplemente para meter la nariz; creaban la suya. Se transmitían señales, se codificaban, se almacenaban y se recuperaban. Se creaban y se ponían al día modelos internos del mundo exterior. Los psicólogos tomaron nota. La teoría de la información y la cibernética les proporcionaron una serie de metáforas útiles e incluso un marco conceptual productivo. El ratón de Shannon podía ser considerado no solo un modelo muy tosco de cerebro, sino también una teoría de la conducta. De repente los psicólogos fueron libres de hablar de planes, algoritmos, y reglas sintácticas. Podían investigar no solo cómo reaccionaban los seres vivos ante el mundo exterior, sino cómo se lo representaban ante sí mismos.

La formulación de la teoría de la información de Shannon parecía invitar a los investigadores a mirar en una dirección que él mismo no había pretendido. Shannon había dicho: «El problema fundamental de la comunicación es el de reproducir de manera exacta o aproximada en un punto un mensaje seleccionado en otro punto». Un psicólogo no podía dejar de considerar el caso en el que la fuente del mensaje es el mundo exterior y el receptor es la mente.

Los ojos y los oídos debían ser concebidos como canales del mensaje. Entonces, ¿por qué no analizarlos y medirlos como si fueran cámaras y micrófonos? «Los nuevos conceptos de naturaleza y medida de la información», escribía Homer Jacobson, químico del Hunter College de Nueva York, «han

hecho posible especificar cuantitativamente la capacidad informacional del oído humano», y procedió a hacerlo.^[8.58] Luego hizo lo mismo con los ojos, llegando a una estimación cuatrocientas veces más grande, en bits por segundo. De repente eran válidos tipos de experimentos mucho más sutiles, algunos de ellos sugeridos por los trabajos de Shannon acerca del ruido y la redundancia. En 1951 un grupo analizó la probabilidad de que los oyentes percibieran una palabra correctamente cuando sabían que era una de unas pocas alternativas, y no de muchas.^[8.59] Parecía evidente, pero no lo había hecho nunca nadie. Los experimentos exploraban los efectos del intento de entender dos conversaciones a la vez. Empezaban considerando cuánta información contenía un conjunto de elementos —dígitos o letras o palabras—, y cuánta podía ser entendida o recordada. En experimentos estándar con el habla, timbres, teclas y golpecitos con los pies, el lenguaje del estímulo y la respuesta empezó a dar paso a la transmisión y la recepción de información.

Durante un breve período, los investigadores estudiaron explícitamente la transición; luego esta se volvería invisible. Donald Broadbent, un inglés estudioso de la psicología experimental que investigaba los temas de la atención y la memoria a corto plazo, escribió en 1958 acerca de un experimento en los siguientes términos: «La diferencia entre una descripción de los resultados en términos de estímulo y respuesta, y una descripción en términos de teoría de la información es marcadísima [...] Indudablemente podríamos desarrollar una descripción adecuada de los resultados en términos de E-R [...], pero semejante descripción sería muy tosca comparada con la descripción según la teoría de la información».^[8.60] Broadbent fundó una sección de psicología aplicada en la Universidad de Cambridge, a raíz de la cual se desarrolló una marea de investigaciones, tanto allí como en otros lugares, sobre el modo en que la gente trata en general la información: efectos del ruido sobre la actuación; atención selectiva y filtrado de la percepción; memoria a corto y a largo plazo; reconocimiento de patrones; y resolución de problemas. ¿Y a quién pertenecía la lógica? ¿A la psicología o a la ciencia de la computación? A quien no pertenecía desde luego era a la filosofía.

Un equivalente de Broadbent que llegó a gozar de mucha influencia en los Estados Unidos fue George Miller, que ayudó a fundar el Centro de Estudios Cognitivos de Harvard en 1960. Era ya famoso por un artículo publicado en

1956 con un título un tanto caprichoso: «El número mágico siete, más o menos dos: algunas limitaciones a nuestra capacidad de procesar información».^[8.61] Parecía que siete era el número de elementos que la mayor parte de la gente podía retener de una vez en la memoria de trabajo: siete dígitos (el típico número de teléfono americano de la época), siete palabras o siete objetos mostrados por un psicólogo experimental. Ese mismo número seguía apareciendo, afirmaba Miller, en otros tipos de experimentos. Se suministraban sorbos de agua con distintas cantidades de sal a diversos sujetos de laboratorio, para ver cuántos niveles distintos de salinidad podían distinguir. Se les proponía que detectaran las diferencias entre distintos tonos de sonoridad. Se les enseñaban patrones aleatorios de puntos, reflejados en la pantalla, y se les preguntaba cuántos había (por debajo de siete, casi siempre los reconocían; por encima de esa cantidad, casi siempre daban solo un cálculo aproximado). De una manera o de otra, el número siete aparecía una y otra vez como un umbral. «Este número asume gran variedad de disfraces», escribía Miller, «siendo unas veces mayor y otras menor de lo usual, pero sin cambiar nunca tanto que resulte irreconocible».

A todas luces se trataba de una tosca simplificación de algún tipo; como decía Miller, la gente puede identificar alguna entre miles de caras o de palabras y puede memorizar largas secuencias de símbolos. Para ver qué clase de simplificación era, recurría a la teoría de la información, y en especial a la forma que tenía Shannon de concebir la información como una selección entre varias alternativas posibles. «Se considera al observador un canal de comunicación», decía, formulación que indudablemente escandalizaría a los conductistas que dominaban la profesión. La información se transmite y se almacena: información acerca de la sonoridad, o la salinidad, o el número. Miller explicaba los bits en los siguientes términos:

Un bit de información es la cantidad de información que necesitamos para tomar una decisión entre dos alternativas con el mismo grado de probabilidad. Si tenemos que decidir si un hombre mide menos de uno ochenta o más de uno ochenta y si sabemos que las posibilidades son 50-50, necesitamos un bit de información [...]

Dos bits de información nos permiten decidir entre cuatro alternativas con el mismo grado de probabilidad. Tres bits de información nos permiten decidir entre ocho alternativas con el mismo grado de probabilidad [...] etcétera. Es decir, si

hay treinta y dos alternativas con el mismo grado de probabilidad, debemos tomar cinco decisiones binarias sucesivas, cada una de ellas de un bit, antes de saber qué alternativa es la correcta. De modo que la regla general es bien sencilla: cada vez que el número de alternativas se incrementa en un factor dos, se añade un bit de información.

El número mágico, siete, está en realidad por debajo de los tres bits. Unos experimentos muy sencillos sirven para medir la discriminación, o capacidad de canal, en una sola dimensión; otras mediciones más complejas vienen determinadas por combinaciones de variables en dimensiones múltiples: por ejemplo, tamaño, brillo y color. Y la gente realiza actos de «recodificación», según el lenguaje de los teóricos de la información, agrupando información en bloques cada vez más grandes: por ejemplo, organizando los puntos y rayas del telégrafo en letras, las letras en palabras, y las palabras en frases. La tesis de Miller se había convertido ya en una especie de manifiesto. La recodificación, afirmaba, «me parece que es la savia vital de los procesos mentales».

Los conceptos y las medidas que proporciona la teoría de la información ofrecen una forma cuantitativa de acceder a algunas cuestiones. La teoría nos ofrece un parámetro para calibrar nuestros materiales de estímulo y para medir la actuación de nuestros sujetos [...] Los conceptos informacionales se ha comprobado ya que son válidos para el estudio de la discriminación y de las lenguas; y prometen ofrecer muchas ventajas para el estudio del aprendizaje y de la memoria; además se ha sugerido que pueden ser útiles para el estudio de la formación de los conceptos. Valdría la pena echar de nuevo una ojeada a muchas cuestiones que parecían estériles hace veinte o treinta años.

Era el principio del movimiento llamado la revolución cognitiva de la psicología; y sentaba las bases de la disciplina llamada ciencia cognitiva, que combina la psicología, la ciencia de las computadoras y la filosofía. Retrospectivamente, algunos filósofos han llamado a este momento el giro informacional. «Los que dan el giro informacional ven la información como el ingrediente básico para construir una mente», dice Frederick Adams.^[8.62] «La información tiene que contribuir al origen de lo mental». Como solía decir el propio Miller, la mente nació a lomos de la máquina.^[8.63]

El de Shannon no era un nombre muy conocido —en realidad nunca llegó a hacerse famoso entre el gran público—, pero había alcanzado una estatura icónica en las comunidades académicas a las que pertenecía, y a veces dio conferencias populares sobre la «información» en universidades y museos, explicando sus ideas básicas. Citaba en broma el evangelio de San Mateo (5:37) diciendo: «Sea vuestro hablar: Sí, sí; no, no; porque lo que es más de esto, de mal procede», como plantilla para las ideas de bit y de codificación redundante; y especulaba sobre el futuro de las computadoras y los autómatas. «En fin, para concluir», dijo en la Universidad de Pennsylvania, «creo que en cierto sentido el siglo actual verá un fuerte aumento y desarrollo de este negocio de la información; del negocio de la recogida de información y del de su transmisión de un punto a otro, y lo que tal vez sea más importante, del negocio de su procesamiento».^[8.64]

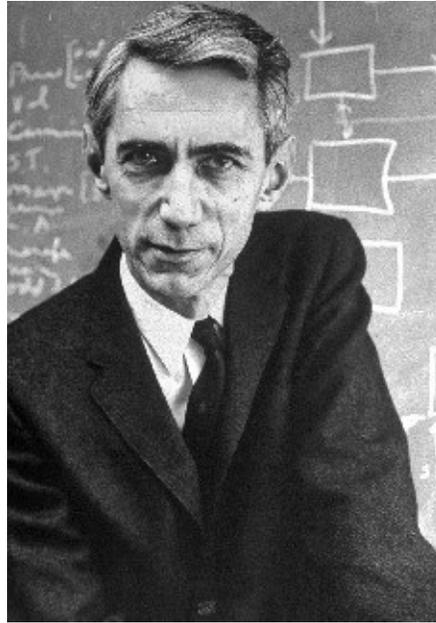
Con los psicólogos, antropólogos, lingüistas, economistas, y toda clase de estudiosos de las ciencias sociales subiéndose al carro de la teoría de la información, algunos matemáticos e ingenieros empezaron a sentirse incómodos. El propio Shannon fue el que habló de «subirse bonitamente al carro». En 1956 escribió un breve aviso de advertencia de apenas cuatro párrafos: «Nuestros colegas, especialistas en las distintas ciencias, atraídos por la fanfarria y las nuevas salidas que se abren al análisis científico, utilizan estas ideas para resolver sus propios problemas [...] Aunque esta ola de popularidad resulte por supuesto agradable y atractiva para los que trabajamos en este campo, trae consigo simultáneamente un elemento de peligro».^[8.65] En el fondo, la teoría de la información era una rama de las matemáticas, les recordaba. Personalmente, él creía que sus conceptos iban a resultar útiles en otros campos, pero no en todos, y no con demasiada facilidad: «El establecimiento de tales aplicaciones no es una simple cuestión de traducir palabras a un nuevo terreno, sino más bien un lento y tedioso proceso de hipótesis y verificación experimental». Además, pensaba que el trabajo duro ya había empezado «en nuestro propio campo». Reclamaba más investigación y menos riesgo.

En cuanto a la cibernética, la palabra empezó a perder fuerza. Los cibernéticos de Macy celebraron su última reunión en 1953, en el Nassau Inn de

Princeton; Wiener se había enfadado con varios miembros del grupo, que ya apenas se hablaban con él. Teniendo en cuenta el trabajo que costaba reunirlos, las palabras de McCulloch sonaban tristes: «Nuestro consenso nunca ha sido unánime», dijo. «Y aunque así hubiera sido, no veo por qué motivo Dios habría tenido que estar de acuerdo con nosotros».^[8.66]

Durante toda la década de 1950, Shannon siguió siendo el líder intelectual del campo que él había fundado. Sus investigaciones se tradujeron en densos artículos atestados de teorías, cargados de posibilidades de desarrollo, que sentaron las bases de otros campos del saber amplísimos. Lo que Marshall McLuhan llamaría más tarde el «medio» era para Shannon el canal, y el canal estaba sujeto a un tratamiento matemático riguroso. Las aplicaciones fueron inmediatas y los resultados muy fértiles: canales de radiotelevisión y canales espía, canales con ruido y sin ruido, canales gaussianos, canales con restricciones de entrada y con restricciones de coste, canales con realimentación y canales con memoria, canales multiusuario y canales multiacceso. (Cuando McLuhan anunció que el medio era el mensaje, actuaba con malicia. El medio es lo contrario del mensaje y, al mismo tiempo, está inextricablemente unido a él).

Uno de los resultados fundamentales de Shannon, el teorema de la codificación con ruido, alcanzó mayor importancia al demostrar que la corrección de un error puede efectivamente eliminar el ruido y la corrupción. Al principio no era más que una sutileza teórica tentadora; la corrección del error requería computación, y esta todavía no era barata. Pero durante los años cincuenta, los trabajos en torno a los métodos de corrección de errores empezaron a cumplir la promesa de Shannon, y su necesidad quedó patente. Una de sus aplicaciones fue la exploración del espacio con cohetes y satélites; había que mandar mensajes a distancias muy largas con una energía limitada. La teoría de la codificación se convirtió en un elemento esencial de la ciencia de la computación, y la corrección de errores y la compresión de datos fueron avanzando codo con codo. Sin ella no existirían los módems, los CD, ni la televisión digital. Para los matemáticos interesados en los procesos aleatorios, los teoremas de la codificación son también una medida de la entropía.



Claude Shannon (1963).

Mientras tanto, Shannon realizó otros progresos teóricos que plantaron la semilla del futuro diseño de computadoras. Un descubrimiento vino a demostrar cómo se podía maximizar el tráfico a través de una red con varias ramificaciones, en la que la red podía ser un canal de comunicación o un ferrocarril o una red eléctrica o un sistema de tuberías de suministro de agua. Otro recibió un título muy apropiado: «Circuitos fiables con relés cochambrosos» (aunque a la hora de su publicación el título del artículo se cambió por el de «... relés menos fiables»).[8.67] Shannon estudió las funciones de conmutación, la teoría de la distorsión de niveles, y la entropía diferencial. Todo este trabajo no podía ser visto por el gran público, pero los temblores sísmicos que acompañaron los albores de la computación se sintieron en muchos campos, y Shannon tuvo también que ver con eso.

Ya en 1948 escribió un primer trabajo sobre un problema que, según decía, «naturalmente no tiene ninguna importancia en sí mismo»:[8.68] cómo programar una máquina para que juegue al ajedrez. Otros ya lo habían intentado con anterioridad, incluso en los siglos XVIII y XIX, cuando empezaron a prodigarse por Europa las giras de diversos tipos de autómatas, hasta que se demostraba que en su interior había pequeños seres humanos. En 1910 el matemático e inventor español Leonardo Torres Quevedo construyó una máquina totalmente mecánica a la que llamó el Ajedrecista y que sabía realmente dar jaque mate con tres

piezas, rey y torre contra rey.

Shannon demostró entonces que las computadoras que ejecutaban cálculos numéricos podían jugar una partida entera de ajedrez. Según explicaba, estos aparatos, «que contienen varios millares de tubos de vacío, relés, y otros elementos», retenían números en la «memoria», y un sutil proceso de traducción podía conseguir que esos números representaran los cuadros y las piezas de un tablero. Los principios por él establecidos han sido empleados desde entonces en todos los programas de juegos de ajedrez. En aquellos primeros días de la computación, fueron muchos los que dieron por supuesto de manera inmediata que el ajedrez iba a *resolverse*: esto es que iba a ser conocido en todos los caminos y combinaciones que pudiera seguir. Pensaron que una computadora electrónica rápida jugaría un ajedrez perfecto, del mismo modo que se pensó que podría hacer pronósticos fiables del tiempo a largo plazo. Sin embargo, Shannon hizo una serie de cálculos a grandes rasgos y sugirió que el número de posibles jugadas de ajedrez que existía era mayor de 10^{120} , una cantidad que deja pequeña la edad del universo en nanosegundos. Así pues, las computadoras no pueden jugar al ajedrez por la fuerza bruta; tienen que razonar, a juicio de Shannon, más o menos siguiendo unas líneas parecidas a las humanas.

Shannon visitó en su piso de la calle 33 E de Nueva York al campeón norteamericano Edward Lasker, que le ofreció algunas sugerencias de mejora. [8.69] Cuando la revista *Scientific American* publicó una versión simplificada de su trabajo en 1950, Shannon no pudo impedir que todo el mundo se planteara mentalmente la siguiente pregunta: «¿Puede “pensar” una máquina semejante de jugar al ajedrez?».

Desde un punto de vista conductista, la máquina actúa como si pensara. Siempre se ha considerado que una jugada de ajedrez hábil requiere la facultad de la razón. Si vemos el pensamiento como una propiedad de acciones externas más que como un método interno, la máquina indudablemente piensa.

No obstante, en 1952 calculaba que serían necesarios tres programadores trabajando durante seis meses enteros para que una computadora a gran escala jugara una partida de ajedrez aceptable para un aficionado. «El problema del aprendizaje del ajedrez se sitúa más lejos en el futuro incluso que un tipo preprogramado. Los métodos que se han sugerido son por supuesto

extraordinariamente lentos. La máquina se agotaría antes de ganar una sola partida.»^[8.70] En cualquier caso, lo importante era buscar en todas las direcciones posibles qué podía hacer una computadora de uso general.

Se dedicó también a ejercitar su sentido de la inventiva. Diseñó y llegó a construir realmente una máquina para hacer operaciones aritméticas con números romanos: por ejemplo, IV por XII, igual XLVIII. La llamó THROBAC I, acrónimo de Thrifty Roman-numeral Backwardlooking Computer («Parsimoniosa Computadora Retrógrada de Números Romanos»). Creó también una «máquina para leer la mente» capaz supuestamente de jugar al juego infantil de adivinar pares y nones. Lo que tenían en común todos estos vuelos de la imaginación era una extensión de los procesos algorítmicos a nuevos campos, la traducción abstracta de ideas en objetos matemáticos. Shannon escribiría más tarde miles de palabras —entre teoremas y corolarios— acerca de los aspectos científicos del malabarismo, e incluyó una cita de memoria de E. E. Cummings: «Algún hijo de puta inventará una máquina de medir la primavera».^[8.71]

Durante los años cincuenta Shannon intentó también diseñar una máquina capaz de repararse sola.^[8.72] Si fallaba un relé, la máquina lo localizaba y lo sustituía. Especuló con la posibilidad de una máquina que pudiera reproducirse, recogiendo partes de su entorno y juntándolas. Los Laboratorios Bell se alegraron mucho de que se dedicara a viajar y a dar charlas sobre esos asuntos, haciendo a menudo demostraciones con su máquina para aprender a encontrar la salida del laberinto, aunque al público no siempre le gustaran. Se oyó pronunciar la palabra «Frankenstein». «Yo me pregunto, chicos, si os dais cuenta de qué es la cosa con la que estáis jugando», escribió un columnista de un periódico de Wyoming.

¿Qué va a pasar si encendéis una de esas computadoras mecánicas y se os olvida apagarla antes de salir a almorzar? Yo os lo diré. Pasaría en América con las computadoras lo mismo que ocurrió en Australia con los conejos. Antes de que pudierais multiplicar setecientos un millones novecientos cuarenta y cinco mil doscientos cuarenta por ochocientos setenta y nueve millones treinta mil quinientos cuarenta y seis, todas las familias del país tendrían su propia computadora [...]

Señor Shannon, no pretendo echar por tierra sus experimentos, pero le seré franco: No estoy ni remotamente interesado en una sola computadora, y me va a

sentar muy mal que un montón de ellas se me echen encima dispuestas a multiplicar o dividir o a hacer lo que mejor se les dé.^[8.73]

Dos años después de que Shannon levantara la bandera de aviso advirtiendo que tuvieran cuidado a los que querían subirse bonitamente al carro, un joven teórico de la información, Peter Elias, publicó otro aviso quejándose de la aparición de un artículo titulado «Teoría de la información, fotosíntesis, y religión».^[8.74] Por supuesto semejante artículo no existía. Pero había habido trabajos acerca de la teoría de la información, la vida, y la topología; de la teoría de la información y la física del deterioro de los tejidos; de la teoría de la información y los sistemas administrativos; de la teoría de la información y la psicofarmacología; de la teoría de la información y la interpretación de los datos geofísicos; de la teoría de la información y la estructura de los cristales; o de la teoría de la información y la melodía. Elias, cuyo padre había trabajado como ingeniero para Edison, era un especialista serio y fue uno de los que más aportaron a la teoría de la codificación. Desconfiaba del trabajo facilón, lleno de lugares comunes, que se saltaba las fronteras interdisciplinarias. El típico artículo, decía, que «estudia la sorprendentemente estrecha relación existente entre el vocabulario y el marco conceptual de la teoría de la información y el de la psicología (o la genética, o la lingüística, o la psiquiatría, o la organización de la economía) [...] Los conceptos de estructura, patrón, entropía, ruido, transmisor, receptor, y código son (cuando se interpretan adecuadamente) fundamentales para ambos». Él afirmaba que eso era hurto. «Tras situar por primera vez la disciplina de la psicología sobre una buena base científica, el autor deja modestamente a los psicólogos que acaben de rellenar los contornos generales que había trazado». Sugería a sus colegas que abandonaran el hurto y se dedicaran a llevar una vida de trabajo honrado.

Las advertencias de Shannon y Elias aparecieron en una de las nuevas revistas, cada vez más numerosas, dedicadas enteramente a la teoría de la información.

En esos círculos destacaba una palabra utilizada por todos: *entropía*. Otro investigador, Colin Cherry, comentaba en tono de queja: «Hemos oído hablar de “entropías” de lenguajes, de sistemas sociales, o de sistemas económicos, y de su uso en diversos estudios carentes de método. Es el tipo de generalización

excesiva a la que la gente se aferra de cualquier manera». ^[8.75] Como todavía no había quedado patente, no decía que la teoría de la información había empezado a cambiar el curso de la física teórica ni de las ciencias de la vida ni que la entropía era una de las razones.

En las ciencias sociales, la influencia directa de los teóricos de la información había alcanzado ya su punto culminante. Las matemáticas especializadas tendrían cada vez menos que aportar a la psicología y cada vez más que decir en la ciencia de la computación. Pero su aportación había sido muy real. Habían catalizado las ciencias sociales y las habían preparado para la nueva época que estaba abriéndose paso. La labor ya había empezado; no cabía dar marcha atrás al giro informacional.

LA ENTROPÍA Y SUS DEMONIOS

(No puedes separar las cosas revolviendo)

El pensamiento interfiere en la probabilidad de un suceso y, por lo tanto, a largo plazo, en la entropía.^[9.1]

DAVID L. WATSON (1930)

Sería una verdadera exageración afirmar que nadie sabía qué significaba *entropía*. No obstante, era una de esas palabras raras o difíciles. En los Laboratorios Bell corría el rumor de que Shannon la había tomado prestada de John von Neumann, que le dijo que iba a imponerse en cualquier discusión porque nadie la entendería.^[9.2] El término en cuestión comenzó teniendo un significado muy distinto. Y sigue siendo terriblemente difícil de definir. Curiosamente, el *Oxford English Dictionary* dice:

1. Nombre dado a uno de los elementos cuantitativos que determinan la condición termodinámica de una porción de materia.

Rudolf Clausius acuñó el término en 1865, cuando intentaba crear una ciencia de la termodinámica. Necesitaba dar un nombre a una determinada cantidad que había descubierto, una cantidad relacionada con la energía, pero no la energía propiamente dicha.

La termodinámica apareció junto con los motores de vapor; al principio, no era más que «el estudio teórico del motor de vapor».^[9.3] Era una ciencia relacionada con la conversión de calor, de energía, en trabajo útil. Cuando este

fenómeno se producía —el calor ponía en funcionamiento un motor—, Clausius observó que el calor en realidad no se perdía, que simplemente pasaba de un cuerpo más caliente a otro más frío. En este proceso, cumplía una función. Como insistía en señalar Sadi Carnot en Francia, ocurría lo mismo con una rueda hidráulica: el agua empieza arriba y termina abajo, y no se pierde ni se gana agua, sino que el agua realiza un trabajo útil cuando va cayendo. Carnot imaginaba el calor como una substancia similar. La capacidad de un sistema termodinámico de producir trabajo útil depende no ya del calor propiamente dicho, sino del contraste existente entre lo caliente y lo frío. Una piedra caliente arrojada en un recipiente de agua fría puede generar trabajo útil —por ejemplo, al crear vapor para impulsar una turbina—, pero el calor total que se libera en el sistema (la piedra y el agua) es constante. Al final, la piedra y el agua alcanzan la misma temperatura. Independientemente de la energía que pueda contener un sistema cerrado, cuando todo alcanza la misma temperatura, no se consigue un trabajo útil.

Es la no disponibilidad de esta energía —su inutilidad para generar trabajo útil— lo que quería medir Clausius. Acuñó el término *entropía*, basándose en la palabra griega, para indicar el «contenido de la transformación». Sus colegas de habla inglesa inmediatamente entendieron lo que pretendía, pero llegaron a la conclusión de que Clausius se había desviado del camino al centrar su atención en lo negativo. En su estudio *Theory of Heat*, James Clerk Maxwell indicaba que sería «más conveniente» que entropía significara todo lo contrario: «la parte que *puede* ser convertida en trabajo mecánico». De modo que:

Cuando la presión y la temperatura de un sistema son por fin uniformes, la entropía se agota.

Al cabo de unos pocos años, sin embargo, Maxwell cambió de idea y optó por seguir el camino emprendido por Clausius.^[9.4] Revisó su estudio y añadió con humildad una nota al pie:

En las anteriores ediciones de este libro se establecía erróneamente que el término Entropía, introducido por Clausius, indicaba esa parte de energía que no puede ser transformada en trabajo útil. A continuación, seguía utilizándose este término en el libro para indicar la energía disponible, dando lugar así a una gran

confusión en el lenguaje de la termodinámica. En la presente edición, he procurado utilizar el término Entropía según la definición original de Clausius.

El problema no consistía simplemente en elegir entre positivo y negativo. Era una cuestión mucho más sutil. En un primer momento, Maxwell había considerado la entropía un subtipo de energía: la energía disponible para generar un trabajo útil. Al reconsiderar su postura, reconoció que la termodinámica necesitaba una medida totalmente distinta. La entropía no era ni una clase de energía ni una cantidad de energía; era, como había dicho Clausius, la *no disponibilidad* de energía. Por abstracto que pareciera el concepto, acabó siendo una cantidad tan medible como la temperatura, el volumen o la presión.

Se convirtió en un concepto totémico. Con la entropía, las «leyes» de la termodinámica podían ser expresadas con claridad:

Primera ley: La energía del universo es constante.

Segunda ley: La entropía del universo aumenta siempre.

Hay otras muchas formulaciones de estas leyes, desde las matemáticas hasta las arbitrarias, como, por ejemplo, «1. No puedes ganar; 2. Tampoco puedes acabar sin ganar ni perder».^[9.5] Pero esta es la cósmica, la fatal. El universo se precipita. Es una calle de sentido único degenerativa. El estado final de máxima entropía es nuestro destino.

William Thomson, lord Kelvin, grabó la segunda ley en la imaginación popular, regocijándose en su aspecto más sombrío: «Aunque la energía mecánica sea indestructible», dijo en 1862, «hay una tendencia universal a su disipación, lo que produce un aumento y una difusión gradual del calor, una interrupción del movimiento y el agotamiento de energía potencial por todo el universo material. El resultado de todo ello sería un estado de inmovilidad universal y de muerte».^[9.6] El fin del calor no es el frío; es tibieza y embotamiento. En 1918 Freud creyó ver algo útil aquí, aunque confundió la idea: «Cuando consideramos la conversión de energía psíquica del mismo modo que la física, debemos recurrir al concepto de entropía, que se opone a la anulación retroactiva de lo que ya ha ocurrido».^[9.7]

Para esto a Thomson le gustaba utilizar el término *disipación*. La energía no se pierde, sino que se disipa. La energía disipada está presente, pero no tiene

utilidad. Fue Maxwell, sin embargo, quien empezó a fijar su atención en la confusión propiamente dicha —el desorden— como una cualidad esencial de la entropía. El desorden parecía curiosamente no físico. Implicaba que una parte de la ecuación debía ser algo como el conocimiento, la inteligencia o el juicio. «La idea de la disipación de la energía depende de la magnitud de nuestro conocimiento», decía Maxwell. «La energía disponible es una energía que podemos dirigir por el canal que queramos. La energía disipada es una energía que no podemos atrapar ni canalizar a nuestro antojo, como la energía de la confusa agitación de moléculas que denominamos calor». Lo que podemos hacer, o saber, formaba parte de la definición. Parecía imposible hablar de orden o de desorden sin involucrar a un agente o a un observador, sin hablar de la mente:

La confusión, como el término correlativo orden, no es una propiedad de las cosas materiales en sí mismas, sino únicamente en relación con la mente que las percibe. Un cuaderno de notas, siempre y cuando esté escrito con pulcritud, no resulta confuso para una persona que no sepa leer, ni para su propietario, que lo comprende de principio a final, pero para cualquier otro individuo que sepa leer resulta inextricablemente confuso. De manera similar, la noción de energía disipada no tiene cabida en un ser incapaz de sacar provecho de las energías de la naturaleza, ni en un ser capaz de seguir el movimiento de cualquier molécula y apoderarse de ella en el momento justo.^[9.8]

Como caso ideal, los pioneros de la termodinámica pensaron en una caja llena de gas. Al estar repleta de átomos, dista mucho de ser algo sencillo y calmado. Constituye un gran amasijo de partículas en constante agitación. Los átomos no se veían y eran hipotéticos, pero estos teóricos —Clausius, Kelvin, Maxwell, Ludwig Boltzmann o Willard Gibbs— reconocieron la naturaleza atómica de un fluido e intentaron averiguar las consecuencias: una mezcla violenta en continuo movimiento. Comprendieron que este movimiento constituía el calor. El calor no es ninguna substancia, ni ningún fluido, ni ningún flogisto; es tan solo el movimiento de unas moléculas.

Cada una de las moléculas debe obedecer a las leyes de Newton (cada acción, cada colisión es, en teoría, medible y calculable). Pero eran demasiadas

para poder medirlas y calcularlas individualmente. La probabilidad entró en escena. La nueva ciencia de la física o mecánica estadística tendía un puente entre los detalles microscópicos y el comportamiento microscópico. Supongamos que la caja de gas está dividida por un diafragma. El gas del sector A está a una temperatura mayor que el gas del sector B, esto es, las moléculas de A se mueven con más rapidez, con más energía. En cuanto se elimina el muro divisor, las moléculas comienzan a mezclarse; las rápidas colisionan con las lentas; se produce un intercambio de energía; y al cabo de un tiempo el gas alcanza una temperatura uniforme. El misterio es el siguiente: ¿por qué no puede revertirse el proceso? En las ecuaciones de movimiento de Newton, el tiempo puede tener un signo más o un signo menos; las matemáticas funcionan en ambos sentidos. En el mundo real el pasado y el futuro no pueden ser intercambiados con tanta facilidad.

«El tiempo pasa, fluye, nunca regresa», decía Léon Brillouin en 1949. «Cuando el físico tiene que enfrentarse a este hecho, se siente sumamente contrariado.»^[9.9] Maxwell se había sentido ligeramente contrariado. Escribió la siguiente observación a lord Rayleigh:

Si este mundo es un sistema puramente dinámico, y si en un mismo instante se revierte con precisión el movimiento de todas las partículas que lo componen, entonces todas las cosas ocurrirán al revés volviendo a su principio: las gotas de lluvia se recogerán del suelo y volarán de vuelta a las nubes, etcétera, etcétera, y los hombres verán a sus amigos pasar de la tumba a la cuna, hasta que nosotros mismos regresemos a una condición anterior al nacimiento, sea cual sea esta.

Su teoría era que en los detalles microscópicos, si observamos los movimientos de cada una de las moléculas, su comportamiento es el mismo tanto adelante como atrás en el tiempo. Podemos rebobinar la película. Pero detengámonos en un cierto punto, amplíemos la imagen y observemos la caja de gas como un conjunto, y estadísticamente el proceso de mezcla se convierte en una calle de sentido único. Aunque observáramos el fluido durante toda la eternidad, nunca veremos separarse las moléculas calientes a un lado y las frías a otro lado. En *Arcadia*, la obra de Tom Stoppard, la joven e inteligente Thomasina dice: «No puedes separar las cosas revolviendo», y esto significa precisamente lo mismo que «el tiempo pasa, fluye, nunca regresa». Este tipo de

procesos discurre en una sola dirección. La probabilidad es la razón. Lo que es destacable —los físicos tardaron mucho tiempo en aceptarlo— es que todo proceso irreversible debe explicarse de la misma manera. El mismísimo tiempo depende de la aleatoriedad, o «los accidentes de la vida», como le gustaba decir a Richard Feynman: «Bien, ves que todo consiste en que la irreversibilidad está provocada por los accidentes de la vida en general».^[9.10] Que en la caja de gas no se produzca una mezcla no es físicamente imposible; es simplemente improbable en extremo. De modo que la segunda ley es meramente probabilística. Estadísticamente, todo tiende hacia una entropía máxima.

Pero basta la probabilidad: basta para que la segunda ley se erija en pilar de la ciencia. Como decía Maxwell:

Conclusión. La segunda ley de la Termodinámica tiene el mismo grado de verdad que la afirmación de que, si arrojas un vaso lleno de agua al mar, no puedes recuperar el mismo vaso lleno de la misma agua.^[9.11]

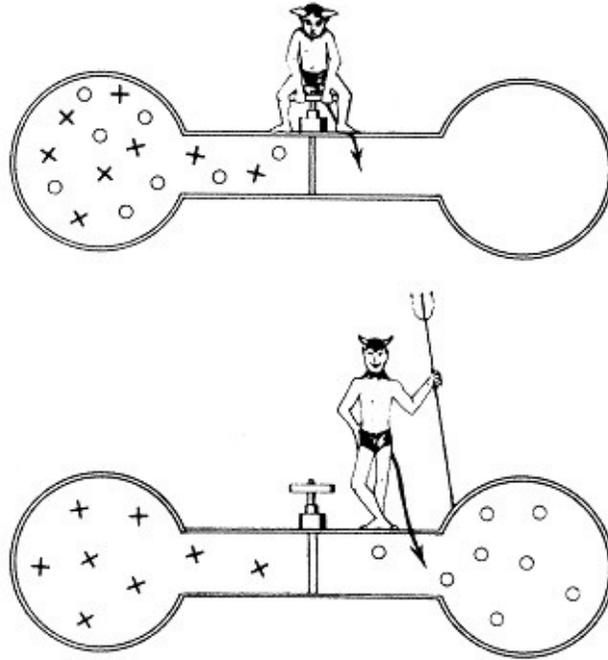
La improbabilidad de que el calor pase de un cuerpo más frío a un cuerpo más caliente (sin ayuda externa) es idéntica a la improbabilidad de que algo se organice desde el desorden (sin ayuda externa). Fundamentalmente, ambas improbabilidades se deben exclusivamente a una cuestión estadística. Si contamos todas las maneras posibles de disposición de un sistema, las formas desordenadas superan con creces a las ordenadas. Hay muchas disposiciones —o «estados»— en las que las moléculas están todas mezcladas, y pocas en las que están claramente clasificadas. Los estados ordenados tienen un nivel bajo de probabilidades y de entropía. Para los grados de orden elevadísimo, las probabilidades pueden ser *muy* pocas. En cierta ocasión, Alan Turing propuso enigmáticamente un número N , definido como «la cuota en contra de un pedazo de tiza saltando por la habitación y escribiendo un verso de Shakespeare en la pizarra».^[9.12]

Al final, los físicos comenzarían a hablar de microestados y macroestados. Un macroestado podía ser lo siguiente: todo el gas en la mitad superior de la caja. Los microestados correspondientes serían todas las disposiciones posibles de todas las partículas: posiciones y velocidades. La entropía se convierte así en un equivalente físico de la probabilidad: la entropía de un macroestado

determinado es el logaritmo del número de sus microestados posibles. La segunda ley, pues, es la tendencia del universo a fluir de unos macroestados menos probables (ordenados) a otros macroestados más probables (desordenados).

No obstante, seguía siendo complicado depender tanto de la física en una cuestión de mera probabilidad. ¿Es correcto afirmar que en física nada impide que un gas se divida en caliente y frío, que es exclusivamente una cuestión de probabilidad y estadística? Maxwell ilustraba este enigma con un experimento mental. Imaginemos, decía, «un ser finito» que se encuentra sobre el diafragma que divide la caja de gas, y por un pequeño agujero controla el paso de las moléculas de un sector a otro. Esta criatura puede ver moléculas moviéndose y acercándose, puede decir si lo hacen rápida o lentamente, y puede decidir si las deja pasar o no. De este modo podría cambiarse la cuota. Separando las rápidas de las lentas, podría conseguirse que el sector A alcanzara una mayor temperatura que el sector B, «y, sin embargo, no se ha llevado a cabo ninguna acción para lograrlo, solo se ha recurrido a la inteligencia de un ser sumamente observador y muy hábil».^[9.13] El ser en cuestión desafía las probabilidades más corrientes. Las posibilidades que hay son que las cosas se mezclen. Para separarlas hace falta información.

A Thomson le encantaba esta idea. Convirtió a la criatura en un demonio:



Lo llamó «El demonio inteligente de Maxwell», «El demonio clasificador de Maxwell» y al poco tiempo simplemente «El demonio de Maxwell». Thomson habló con elocuencia de esta pequeña criatura: «Se distingue de cualquier otro animal vivo real solo [¡solo!] por su extremada pequeñez y por su agilidad.»^[9.14] Una tarde, en el curso de una conferencia en la Royal Institution of Great Britain, presentó ante el numeroso público asistente unos tubos llenos de líquido con los que tiñó dos colores distintos y demostró el proceso aparentemente irreversible de difusión, tras lo cual declaró que únicamente el pequeño demonio podía contrarrestarlo:

Puede lograr que en una mitad de un tarro cerrado lleno de aire, o de una barra de hierro, aumente el calor, y en la otra el frío helado; puede dirigir las moléculas en movimiento de una jofaina llena de agua hasta elevar el agua a un punto y dejarla en él proporcionalmente enfriada; puede «clasificar» las moléculas de una solución de sal o de una mezcla de dos gases, para revertir el proceso natural de difusión y producir una concentración de la solución en una parte del agua, dejando el agua pura en el resto del espacio ocupado; o, en el otro caso, separar los gases en sectores distintos del receptáculo.

El articulista de *The Popular Science Monthly* pensó que aquello era ridículo. «Se supone que toda la naturaleza está llena de un sinnúmero de enjambres de

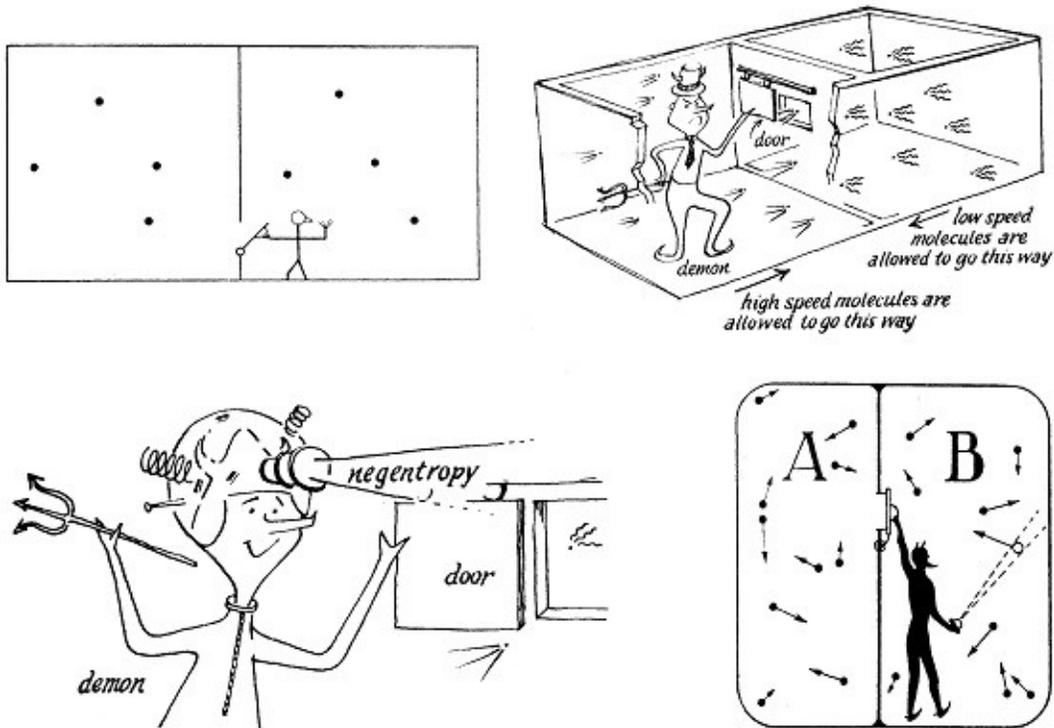
diminutos diablillos microscópicos absurdos», comentó con aires de superioridad. «Cuando hombres como Maxwell, de Cambridge, y Thomson, de Glasgow, conceden credibilidad a una ocurrencia tan claramente hipotética como la de unos diablillos que van empujando y pegando patadas a los átomos de esta y de esta otra manera [...] es lógico que nos preguntemos, ¿Qué es lo siguiente?»^[9.15] No supo comprender lo verdaderamente esencial. Maxwell nunca había pretendido que existiera su demonio; solo lo utilizaba para facilitar la comprensión de un fenómeno.

El demonio puede ver lo que nosotros no vemos (porque somos demasiado grandes y lentos), a saber, que la segunda ley es estadística, no mecánica. En el ámbito de las moléculas, se viola constantemente, aquí y allá, por pura casualidad. El demonio sustituye la casualidad por propósito. Utiliza información para reducir la entropía. Maxwell nunca imaginó la popularidad que alcanzaría su demonio, ni la larga duración de su vida. Henry Adams, que quiso introducir una versión de la entropía en su teoría de la historia, escribió el siguiente comentario a su hermano Brooks en 1903: «El demonio de Clerk Maxwell que rige la segunda ley de la Termodinámica debería ser nombrado Presidente».^[9.16] El demonio presidía una puerta —al principio, una puerta mágica— que comunicaba el mundo de la física con el mundo de la información.

Los científicos sentían envidia de los poderes que tenía el demonio. El demonio se convirtió en un personaje habitual de las viñetas que ilustraban las revistas de física. Lo cierto es que la criatura era una fantasía, pero el mismísimo átomo había parecido fantástico, y el demonio había ayudado a dominarlo. Por muy implacables que parecieran las leyes de la naturaleza, el demonio las desafiaba. Era un ladrón, que con su llave maestra abría la cerradura para dejar pasar a una molécula cada vez. Tenía unos «sentidos infinitamente sutiles», escribió Henri Poincaré, «y podía revertir la marcha del universo».^[9.17] ¿Acaso no era eso precisamente lo que los humanos soñaban hacer?

A través de sus microscopios cada vez mejores, los científicos de comienzos del siglo XX examinaban los procesos activos de selección de las membranas biológicas. Descubrieron que las células vivas actúan como bombas, como filtros y como fábricas. Los procesos determinantes parecían operar a una escala

minúscula. ¿Quién o qué se encargaba de controlarlo? La mismísima vida parecía una fuerza organizadora. «Ahora no debemos introducir la demonología en la ciencia», escribía en 1914 el biólogo británico James Johnstone. En física, decía, las distintas moléculas deben quedar fuera de nuestro control. «Estos movimientos y caminos están descoordinados, “revueltos” si se prefiere. La física considera únicamente la velocidad media estadística». Por esta razón los fenómenos de la física son irreversibles, «de modo que para esta última ciencia los demonios de Maxwell no existen». Pero ¿qué decir de la vida? ¿Qué decir de la psicología? Los procesos de la vida terrestre *son* reversibles, sostenía. «Por lo tanto, debemos buscar pruebas de que el organismo puede controlar los, por otra parte, movimientos descoordinados de las distintas moléculas».



Aunque veamos que buena parte del esfuerzo humano está dedicada a dirigir agentes y energías naturales por caminos que, de no ser por ello, no tomarían, ¿no es extraño que no hayamos sabido considerar que los organismos primitivos, e incluso los elementos de los tejidos de los cuerpos de organismos superiores, tienen también la facultad de dirigir procesos físico-químicos?^[9.18]

Si la vida seguía siendo un gran misterio, tal vez el demonio de Maxwell no

fuera simplemente el protagonista de unas viñetas.

Luego el demonio empezó a suscitar el interés de Leó Szilárd, un jovencísimo físico húngaro con una imaginación sumamente productiva que posteriormente concebiría el microscopio electrónico y, no por casualidad, la reacción nuclear en cadena. Uno de sus profesores más célebres, Albert Einstein, movido por un sentimiento de protección un poco paternalista, le aconsejó aceptar un puesto de trabajo remunerado en la oficina de patentes, pero Szilárd desoyó este consejo. En la década de 1920 su pensamiento giraba en torno a cómo compaginar la termodinámica con las constantes fluctuaciones moleculares. Por definición, las fluctuaciones contradecían los promedios, como los peces que nadan momentáneamente a contracorriente, y era lógico que la gente se preguntara, ¿y si lográramos controlarlos y sacar provecho de ellos? Esta idea irresistible dio lugar a una versión de una máquina hipotética, el móvil perpetuo, *perpetuum mobile*, santo grial de excéntricos y de vendedores de humo. Era otra forma de decir: «Todo ese calor, ¿por qué no podemos utilizarlo?».

Era también otra de las paradojas generadas por el demonio de Maxwell. En un sistema cerrado, el demonio que pudiera atrapar las moléculas rápidas y dejar pasar las lentas dispondría de una fuente de energía útil que iría renovándose continuamente. Pero, ¿y si no fuera un demonio? ¿Y si fuera algún otro «ser inteligente»? ¿Tal vez un físico experimental? Un móvil perpetuo debería ser posible, dijo Szilárd, «si vemos al individuo experimentador como una especie de *deus ex machina*, alguien que está continuamente informado del estado existente de la naturaleza».^[9.19] Para esta versión del experimento mental, Szilárd quiso aclarar que no pretendía invocar a ningún demonio viviente con, por ejemplo, un cerebro, pues la biología conlleva sus propios problemas. «La propia existencia de un sistema nervioso», comentó, «depende de la disipación continua de energía». (Su amigo Carl Eckart expresó concisamente esta idea con las siguientes palabras: «Pensar genera entropía».)^[9.20] En su lugar, proponía un «mecanismo no vivo», que interviniera en un sistema termodinámico y activara un pistón en un cilindro de fluido. Señalaba que el mecanismo en cuestión necesitaría, efectivamente, disponer de «una especie de facultad para memorizar». (En 1929 Alan Turing era un adolescente. En términos de Turing, Szilárd estaba presentando la mente del demonio como una computadora con

una memoria de dos estados).

Szilárd demostró que incluso este móvil perpetuo acabaría fallando. ¿Qué pretendía indicar con todo esto? En pocas palabras: que la información no es libre. Maxwell, Thomson y todos los demás habían hablado implícitamente como si el conocimiento estuviera allí a nuestra disposición, el conocimiento de las velocidades y las trayectorias de las moléculas que vienen y van ante la mirada atenta del demonio. No consideraron el coste de esta información. No pudieron; para ellos, en una época mucho más simple, era como si la información perteneciera a un universo paralelo, a un plano astral, no vinculado con el universo de la materia y la energía, unas partículas y fuerzas, cuyo comportamiento estaban aprendiendo a calcular.

Pero la información es física. El demonio de Maxwell establece el vínculo. El demonio realiza una conversión entre información y energía, una partícula cada vez. Szilárd —que todavía no utilizaba la palabra *información*— se dio cuenta de que, si tenía debidamente en cuenta cada medida y cada memoria, la conversión podía ser computada con precisión. De modo que la computó. Calculó que cada unidad de información conlleva el correspondiente aumento de entropía (en concreto, dos unidades por $\log k$). Cada vez que el demonio efectúa una elección entre una partícula y otra, el coste es de un bit de información. La recompensa llega al final del ciclo, cuando tiene que vaciar su memoria (Szilárd no especificaba estos últimos detalles en palabras, sino con la ayuda de las matemáticas). Justificar debidamente todo este proceso es la única manera de eliminar la paradoja del movimiento perpetuo, de recuperar la armonía en el universo, de «restaurar la concordancia con la Segunda Ley».

Szilárd había cerrado así un ciclo que conducía a la concepción de Shannon de la entropía como información. Por su parte, Shannon, que no leía alemán, no seguía la *Zeitschrift für Physik*. «Creo que en realidad Szilárd estaba pensando en esto», diría mucho más tarde, «y habló de ello con Von Neumann, y es probable que Von Neumann hablara de ello con Wiener. Pero ninguno de ellos habló realmente de ello conmigo».^[9,21] No obstante, Shannon fue quien reinventó las matemáticas de la entropía.

Para el físico, la entropía es una medida de la incertidumbre acerca del

estado de un sistema físico: un estado entre todos los estados posibles que puede haber. Estos microestados no tienen por qué ser igualmente probables, por lo que el físico escribe: $S = -\sum \rho_i \log \rho_i$.

Para el teórico de la información, la entropía es una medida de la incertidumbre acerca de un mensaje: un mensaje entre todos los mensajes posibles que puede producir una fuente de comunicación. Los mensajes posibles no tienen por qué ser igualmente probables, por lo que Shannon escribió: $H = -\sum \rho_i \log \rho_i$.

No se trata de una mera coincidencia de formalismos, de que la naturaleza ofrezca unas respuestas similares a unos problemas similares. Se trata de un único problema. Para disminuir la entropía en una caja llena de gas, para efectuar un trabajo útil, hay que pagar un precio en información. Del mismo modo, un mensaje concreto disminuye la entropía en el conjunto de mensajes posibles (en términos de sistemas dinámicos, un espacio físico o espacio de fases).

Así es cómo lo veía Shannon. La versión de Wiener era ligeramente distinta. Era conveniente —para un término que comenzó indicando lo opuesto de su significado— que estos colegas y rivales colocaran signos opuestos en sus formulaciones de entropía. Allí donde Shannon identificaba información con entropía, Wiener sostenía que era una entropía *negativa*. Wiener decía que información significaba orden, pero una cosa ordenada no representa necesariamente mucha información. El propio Shannon indicaba la diferencia existente entre ellas y la minimizaba, llamándola una especie de «retruécano matemático». Y señalaba que llegan a las mismas respuestas numéricas:

Yo considero la cantidad de información que *se produce* cuando se realiza una elección en un conjunto: cuanto más grande es el conjunto, más es la información. Tú consideras que más incertidumbre en el caso de un conjunto más grande significa menos conocimiento de la situación y, de ahí, *menos* información. [\[9.22\]](#)

Digámoslo de otra manera, H es una medida de sorpresa. Digámoslo incluso de otra manera más, H es el promedio del número de preguntas con una respuesta de sí o no necesario para adivinar el mensaje que se ignora. Shannon supo entenderlo —al menos, su enfoque resultó sumamente útil para los matemáticos y los físicos de una generación después—, pero la confusión

persistió varios años. Orden y desorden siguieron necesitando una clasificación que los distinguiera con claridad.

Todos nosotros nos comportamos como el demonio de Maxwell. Los organismos organizan. En las experiencias cotidianas se encuentra la razón por la que los físicos más serios han mantenido viva esta fantasía de viñeta a lo largo de dos siglos. Clasificamos la correspondencia, construimos castillos de arena, resolvemos rompecabezas, separamos el trigo de la paja, reorganizamos las piezas del juego del ajedrez, coleccionamos sellos, colocamos libros por orden alfabético, creamos simetrías, componemos sonetos y sonatas y ordenamos las habitaciones de nuestra casa, y hacer todo esto no exige demasiada energía, siempre y cuando sepamos utilizar la inteligencia. Difundimos estructuras (no solo nosotros los humanos, sino todos los que estamos vivos). Obstaculizamos la tendencia al equilibrio. Sería absurdo intentar ofrecer una justificación termodinámica para todos estos procesos, pero no es absurdo afirmar que estamos reduciendo entropía, poco a poco. Bit a bit. El demonio original, que diferenciaba una molécula cada vez, que distinguía entre rápido y lento y que controlaba su puertecilla, a veces aparece descrito como «superinteligente», pero comparado con un organismo real es un simplón. Los seres vivos no solo reducen el desorden en su entorno; son en sí mismos, por su esqueleto y su carne, por sus vesículas y sus membranas, por sus conchas y sus caparazones, por sus hojas y sus flores, por sus sistemas circulatorios y su metabolismo, milagros de un patrón y de una estructura. A veces da la impresión que controlar la entropía sea nuestro objetivo quijotesco en este universo.

En 1943, cuando fue invitado a dar un ciclo de conferencias divulgativas en el Trinity College de Dublín, Erwin Schrödinger, un fumador empedernido que se caracterizaba por llevar regularmente pajarita, y uno de los grandes pioneros de la física cuántica, decidió que había llegado la hora de dar respuesta a una de las grandes cuestiones imposibles de responder: ¿Qué es la vida? La ecuación que llevaba su nombre constituía la formulación esencial de la mecánica cuántica. Al fijar su atención más allá de su campo, como suelen hacer los premios Nobel de mediana edad, Schrödinger cambió rigor por especulación y empezó pidiendo disculpas por «embarcarnos, como hemos tenido que hacer

algunos, en una síntesis de realidades y teorías, aunque con un conocimiento incompleto e indirecto de algunas de ellas, y a riesgo de hacer el ridículo».^[9.23] Sin embargo, el librito en el que recopiló esas conferencias adquiriría una gran relevancia. Sin descubrir ni aportar nada nuevo, sentó las bases de una nueva ciencia, aún sin nombre, en la que se combinaban la genética y la bioquímica. «El libro de Schrödinger se convirtió en una especie de *Cabaña del Tío Tom* de la revolución de la biología, la cual, cuando la nube de polvo se disipó, dejó como legado la biología molecular», escribiría más tarde uno de los fundadores de la disciplina.^[9.24] Los biólogos nunca habían leído nada similar, y los físicos lo tomaron como una señal de que los siguientes grandes problemas iban a estar relacionados con la biología.

Schrödinger empezaba con lo que denominaba el enigma de la estabilidad biológica. En claro contraste con una caja de gas, con sus caprichosas probabilidades y fluctuaciones, y con aparente indiferencia por su propia disciplina, la mecánica cuántica, en la que la incertidumbre es la norma, las estructuras de una criatura viva presentan una permanencia notable. Persisten, en la vida del organismo y a lo largo de generaciones, a través de la herencia. Este hecho resultaba tan sorprendente para Schrödinger que, a su juicio, requería una explicación.

Y formulaba la siguiente pregunta: «¿Cuándo puede decirse que un pedazo de materia está vivo?».^[9.25] Pasando por alto las contestaciones habituales relacionadas con el crecimiento, la alimentación y la reproducción, respondía con la mayor sencillez posible: «Cuando “sigue haciendo” algo, ya sea moviéndose, intercambiando material con el medio ambiente, etcétera, y todo ello durante un período mucho más largo que el que esperaríamos que “siguiera haciéndolo” un pedazo de materia inanimada en circunstancias similares». Normalmente, un pedazo de materia se paraliza; una caja de gas alcanza una temperatura uniforme; un sistema químico «queda convertido en un montón muerto e inerte de materia» (de una manera u otra, se obedece la segunda ley y se llega a la máxima entropía). Las cosas vivas consiguen permanecer inestables. Norbert Wiener siguió esta línea de pensamiento en *Cibernética*: las enzimas, decía, pueden ser unos demonios de Maxwell «metaestables», esto es, no del todo estables o con una estabilidad precaria. «El estado estable de una enzima es estar sin energía», indicaba, «y el estado estable de un organismo vivo es estar

muerto». [9.26]

Schrödinger pensaba que el hecho de saltarse la segunda ley durante un tiempo, o fingir hacerlo, es exactamente el motivo de que un ser vivo «parezca tan enigmático». La capacidad del organismo de fingir un movimiento perpetuo lleva a mucha gente a creer en una *fuera vital* especial de carácter sobrenatural. Se reía de esta idea —*vis viva* o entelequia— y también se reía de la idea popular de que los organismos «se nutren de energía». Energía y materia eran simplemente dos caras de una misma moneda, y cualquier caloría es tan buena como otra. No, decía: el organismo se nutre de entropía negativa.

«Para decirlo de una manera menos paradójica», añadía paradójicamente, «lo esencial en el metabolismo es que el organismo consigue liberarse de toda la entropía que no puede dejar de producir mientras está vivo». [9.27]

En otras palabras, el organismo absorbe orden de su entorno. Herbívoros y carnívoros comen en un buffet de estructuras; se nutren de compuestos orgánicos, materias en un estado perfectamente ordenado, y los devuelven «en una forma sumamente degradada, aunque no totalmente degradada, pues las plantas pueden hacer uso de ellos». Por su parte, las plantas obtienen de los rayos del sol no solo energía, sino también entropía negativa. En términos de energía, las cuentas pueden llevarse de manera más o menos rigurosa. En términos de orden, los cálculos no son tan sencillos. El cómputo matemático de orden y caos es más delicado, y las definiciones pertinentes obedecen a sus propios circuitos de retroalimentación.

Quedaban muchas más cosas por aprender, decía Schrödinger, relacionadas con los métodos que tiene la vida para almacenar y perpetuar el orden que proporciona la naturaleza. Con la ayuda de sus microscopios, los biólogos habían aprendido muchas cosas acerca de las células. Podían observar los gametos, tanto los masculinos (espermatozoides) como los femeninos (óvulos). En su interior estaban los pequeños cuerpos en forma de bastoncillo llamados cromosomas, ordenados por parejas de homólogos, en un número constante entre los individuos de una misma especie, y de los que se sabía que eran los portadores de los rasgos hereditarios. Como diría Schrödinger entonces, contienen, de alguna manera, el «esquema» del organismo: «Son estos cromosomas, o probablemente solo una fibra axial de lo que vemos bajo el microscopio como cromosoma, los que contienen en alguna forma de clave o

texto cifrado el esquema completo de todo el desarrollo futuro del individuo». Consideraba sorprendente, misterioso, pero sin duda crucial para ciertos aspectos todavía desconocidos, que cada una de las células de un organismo «contiene una copia (doble) de toda la clave».^[9.28] Comparaba este hecho con un ejército en el que cada uno de sus soldados conoce todos los particulares del plan de su general.

Estos detalles constituían los numerosos «caracteres» discretos de un organismo, aunque no quedaba demasiado claro en qué consistía un carácter. («No parece ni adecuado ni posible diseccionar en “caracteres” discretos el esquema de un organismo que es esencialmente una unidad, “un todo”», comentaba Schrödinger.)^[9.29] El color, azul o pardo, de los ojos de un animal podía ser un carácter, pero parecía más fructífero centrarse en la diferencia entre un individuo y otro, y se suponía que esta diferencia estaba controlada por algo que llevaban los cromosomas. Schrödinger utilizaba el término gen: «el portador material hipotético de una determinada característica hereditaria». Nadie podía ver aún estos hipotéticos genes, pero era evidente que esa situación iba a cambiar en poco tiempo. Las observaciones microscópicas permitieron calcular su tamaño: probablemente unas cien o ciento cincuenta distancias atómicas; tal vez mil átomos o menos. En cierta manera, sin embargo, estos diminutos entes deben dar cabida a todo el esquema de una criatura viva (de una mosca o de un rododendro, de un ratón o de un hombre). Y tenemos que entender este esquema como un objeto cuatridimensional: la estructura del organismo a lo largo de todo su desarrollo ontogenético, desde su fase embrionaria hasta su fase adulta.

En su búsqueda de un camino que ayudara a comprender la estructura molecular de un gen, parecía lógico observar la forma más organizada de materia: los cristales. Los sólidos con forma cristalina tienen una permanencia relativa; partiendo de un pequeño germen, pueden desarrollarse hasta convertirse en una gran estructura; y la mecánica cuántica empezaba a estudiar con profundidad sus energías de enlace. Pero a Schrödinger le parecía que faltaba algo. Los cristales son demasiado ordenados, pues su formación se basa en un método «bastante rudimentario en comparación», consistente en «repetir una y otra vez la misma estructura en tres dimensiones». Por elaborados que parezcan, los sólidos cristalinos contienen solamente unos cuantos tipos de átomo. La vida tiene que depender de un nivel más alto de complejidad, de unas estructuras sin

repeticiones predecibles, sostenía. Acuñó un término: cristales aperiódicos. Su hipótesis era la siguiente: *Creemos que un gen —o tal vez toda la fibra de un cromosoma— es un sólido aperiódico.*^[9.30] Apenas podía hacer suficiente hincapié en la gloria de esta diferencia, en la diferencia existente entre periódico y aperiódico:

La diferencia entre ambas estructuras viene a ser como la que hay entre un papel pintado de pared, en el que el mismo motivo se repite una y otra vez con regular periodicidad, y una obra maestra del bordado, como, por ejemplo, un tapiz de Rafael, que no presenta una repetición monótona y aburrida, sino un diseño elaborado, coherente y *lleno de sentido.*^[9.31]

Algunos de los lectores que más lo admiraban —como Léon Brillouin, el físico francés que, huyendo de la guerra, hacía poco que había abandonado Europa y se había refugiado en los Estados Unidos— dijeron que Schrödinger era demasiado inteligente para ser totalmente convincente, aunque demostraran precisamente en su propio trabajo lo convencidos que estaban. Brillouin se sintió particularmente impresionado por la comparación con los cristales, con sus elaboradas, aunque inanimadas, estructuras. Los cristales tienen una capacidad que les permite repararse por sí solos, comentó; bajo presión, sus átomos pueden cambiar de posición para mantener el equilibrio. Ese hecho podía entenderse en términos de termodinámica y, a partir de entonces, de mecánica cuántica. ¿Hasta qué punto, pues, es importante en un organismo la capacidad de repararse por sí solo?: «El organismo vivo cura sus propias heridas, pone remedio a sus enfermedades y puede reconstruir grandes pedazos de su estructura cuando estos han sido destruidos por algún accidente. Se trata del comportamiento más sorprendente e inesperado».^[9.32] Siguiendo a Schrödinger, también utilizó la entropía para establecer una relación entre la menor y la mayor de las escalas.

La tierra no es un sistema cerrado, y la vida se nutre de energía y de entropía negativa penetrando en el sistema terrestre [...] El ciclo es: primero, la creación de equilibrios inestables (combustibles, alimentos, cascadas, etcétera); luego, la utilización de estas reservas por parte de todas las criaturas vivas.

Las criaturas vivas confunden la computación habitual de la entropía. De manera más general, la información hace lo mismo. «Cojamos un ejemplar de

The New York Times, el libro sobre cibernética y una cantidad de papel de escribir que tenga el mismo peso», proponía Brillouin. «¿Tienen la misma entropía?». Si lo utilizas para alimentar el fuego de la chimenea, sí. Pero si lo quieres para leer, no. En la disposición de las manchas de tinta hay entropía.

Por esta razón, los mismísimos físicos se dedican a transformar entropía negativa en información, decía Brillouin. De sus observaciones y mediciones, el físico deduce leyes científicas; con estas leyes el hombre crea unas máquinas nunca vistas en la naturaleza, con las estructuras más improbables. Escribió todo esto en 1950, cuando acababa de abandonar Harvard, y poco antes de incorporarse a su nuevo trabajo en la empresa IBM, en Poughkeepsie.^[9.33]

Pero ese no fue, ni mucho menos, el final del demonio de Maxwell. En realidad, el problema no pudo resolverse, el demonio acabó efectivamente desterrado, sin una comprensión más profunda de un reino muy alejado de la termodinámica: la computación mecánica. Más tarde, Peter Landsberg escribió su obituario en los siguientes términos: «El demonio de Maxwell falleció a los 62 años de edad (cuando apareció un estudio de Leó Szilárd), pero sigue manifestándose en los castillos de la física como un fantasma inquieto y sumamente encantador».^[9.34]

EL CÓDIGO DE LA VIDA

(*El ser vivo está escrito en el huevo*)

Lo que hay en el corazón de toda cosa viviente no es un fuego, no un aliento cálido, no una «chispa de vida». Es información, palabras, instrucciones. Si buscan una metáfora, no piensen en fuegos ni chispas ni alientos. Piensen en mil millones de caracteres digitales discretos tallados en tablillas de cristal.^[10.1]

RICHARD DAWKINS (1986)

A los científicos les encantan sus partículas elementales. Si los rasgos genéticos son transmitidos de generación en generación, tienen que asumir una forma primigenia o disponer de algún portador. De ahí la partícula putativa del protoplasma. «Al biólogo se le debe permitir un uso tan científico de la imaginación como al físico», explicaba *The Popular Science Monthly* en 1875. «Si uno tiene que utilizar átomos y moléculas, el otro tiene que utilizar sus unidades fisiológicas, sus moléculas plásticas, sus “plastículas”». ^[10.2]

Las *plastículas* no cuajaron, y en cualquier caso casi todo el mundo tenía una idea equivocada de lo que era la herencia. De ese modo, en 1910, un botánico danés, Wilhelm Johannsen, inventó tímidamente el término *gen*. Le costaba mucho trabajo corregir la mitología común y pensó que una palabra podría serle útil. El mito era el siguiente: las «cualidades personales» son transmitidas de padres a hijos. Se trata de la «concepción más ingenua y antigua de la herencia», dijo Johannsen en un discurso ante la Sociedad Americana de Naturalistas. ^[10.3] Era comprensible. Si el padre y la hija son gordos, cualquiera se vería tentado a pensar que la gordura de él causó la de ella, o que el padre se la había pasado a la

hija. Pero no es así. Como afirmaba Johannsen, «las *cualidades personales* de cualquier organismo individual no causan las cualidades de su descendiente; pero las cualidades de antepasado y descendiente están determinadas prácticamente de la misma manera por la naturaleza de las “sustancias sexuales” —es decir, los gametos— a partir de las cuales se han desarrollado». Lo que es heredado es más abstracto, tiene más que ver con la naturaleza de la potencialidad.

Para acabar con el pensamiento engañoso, Johannsen proponía una nueva terminología, y para empezar ahí estaba el *gen*: «Ni más ni menos que una palabrita con muchas aplicaciones, fácil de combinar con otras».^[10.i] No importaba demasiado que ni él ni nadie supiera lo que era realmente un gen; «puede resultar útil como expresión para designar los “factores de unidad”, los “elementos” o “alelomorfos” [...] En cuanto a la naturaleza de los “genes”, todavía no tiene ningún valor proponer una hipótesis». Los años de investigación de Gregor Mendel con los guisantes amarillos y verdes demostraban que debía de existir algo de eso. Los colores y otros rasgos varían dependiendo de muchos factores, como la temperatura o el contenido del suelo, pero hay *algo* que se conserva en su totalidad; que no se mezcla ni si difumina; y que debe ser cuantificado.^[10.4] Mendel había descubierto el gen, aunque no le diera nombre. Para él era más una conveniencia algebraica que una entidad física.

Cuando Schrödinger consideró la cuestión del gen, se enfrentó a un problema. ¿Cómo un «fragmento de material tan diminuto» podía contener la totalidad del complejo código que determina el elaborado desarrollo del ser vivo? Para resolver esta dificultad, Schrödinger recurrió a un ejemplo no de la mecánica ondulatoria o de la física teórica, sino de la telegrafía: el código de Morse. Señalaba que solo dos signos, el punto y la raya, podían combinarse en grupos debidamente ordenados para generar todo el lenguaje humano. También los genes, sugería, deben emplear un código: «Ese código en miniatura se correspondería precisamente con un plan de desarrollo sumamente complicado y específico y de alguna manera contendría los medios necesarios para ponerlo en acción».^[10.5]

Códigos, instrucciones, señales: todo ese lenguaje, en el que resonaban los ecos de la maquinaria y la ingeniería, ejercía sobre los biólogos una presión semejante a la del francés normando que se coló en el inglés medieval. En los

años cuarenta esa jerga tenía un encanto artificial muy apreciado, pero que no tardó en pasar de moda. La nueva biología molecular empezó a estudiar el almacenamiento y la transferencia de información. Los biólogos empezarían a contar en «bits». Algunos físicos que volvieron en aquellos momentos sus ojos a la biología vieron justamente en la información el concepto que necesitaban para estudiar y medir unas cualidades biológicas para las cuales no había habido instrumentos hasta entonces: complejidad y orden, organización y especificidad. [10.6] Henry Quastler, radiólogo primero en Viena y luego en la Universidad de Illinois, aplicó la teoría de la información a la biología y a la psicología; calculaba que un aminoácido tiene el contenido de información de una palabra escrita, y una molécula de proteína tiene el contenido de información de todo un párrafo. Su colega, Sidney Dancoff, le sugirió en 1950 que una cadena cromosómica es «una cinta lineal de información codificada»:

Toda la cadena constituye un «mensaje». Ese mensaje puede dividirse en subunidades que podríamos llamar «párrafos», «palabras», etc. La mínima unidad de mensaje quizá no es más que un simple cambio de rumbo brusco que permite tomar una decisión sí-no. [10.7]

En 1952 Quastler organizó un simposio sobre la teoría de la información en la biología, sin más finalidad que desplegar esas nuevas ideas —entropía, ruido, mensajería, diferenciación— en campos que se extendían desde la estructura de la célula o la catálisis enzimática hasta los «biosistemas» a gran escala. Un investigador elaboró un cálculo del número de bits representado por una sola bacteria: ni más ni menos que 10^{13} . [10.8] (Pero ese era el número necesario para describir toda su estructura molecular en tres dimensiones; quizá existiera una descripción más económica). El crecimiento de la bacteria podía analizarse como una reducción de la entropía de la parte del universo que le correspondía. Quastler intentó también tomar la medida de organismos superiores en términos de contenido de información: no en términos de átomos («sería extremadamente antieconómico»), sino en términos de «instrucciones hipotéticas para construir un ser vivo». [10.9] Y eso lo llevaba, por supuesto, a los genes.

Todo ese conjunto de instrucciones —«situadas en algún lugar dentro de los cromosomas»— es el genoma. Se trata de un «catálogo», decía, que contendría

si no toda, al menos «una fracción sustancial de toda la información acerca de un organismo adulto». Hacía hincapié, sin embargo, en lo poco que se sabía acerca de los genes. ¿Eran entidades físicas discretas o se solapaban unos a otros? ¿Eran «fuentes independientes de información» o se influían entre sí? ¿Cuántos había? Multiplicando todas estas incógnitas, llegaba al siguiente resultado:

La complejidad esencial de una sola célula y de todo un hombre no es más que 10^{12} ni menos que 10^5 bits; se trata de un cálculo extremadamente tosco, pero es mejor que nada.^[10.10]

Estos torpes intentos no llegaron directamente a nada. La teoría de la información de Shannon no podía injertarse entera en la biología. No importaba demasiado. Estaba produciéndose ya un cambio verdaderamente sísmico: el que iba de pensar en la energía a pensar en la información.

Al otro lado del Atlántico, en la primavera de 1953 llegó a las oficinas de la revista *Nature*, en Londres, una extraña carta con una lista de signatarios de París, Zürich, Cambridge y Ginebra, entre los que destacaba Boris Ephrussi, el primer catedrático de genética de Francia.^[10.11] Los científicos se quejaban de «lo que nos parece un desarrollo bastante caótico del vocabulario técnico». En particular, habían visto que la recombinación genética de las bacterias era descrita como «transformación», «inducción», «transducción» o incluso «infección». Lo que ellos proponían era simplificar las cosas:

Como solución a esta situación tan confusa, desearíamos sugerir el uso de la expresión «información interbacterial» para sustituir a las arriba citadas. Ello no implica necesariamente una transferencia de sustancias materiales, y reconoce la posible importancia futura de la cibernética a nivel bacterial.

La carta era el resultado de un almuerzo profusamente regado con vino a orillas del lago en la localidad suiza de Locarno, concebida como una broma,^[10.12] pero considerada perfectamente plausible por los editores de *Nature*, que la publicaron de inmediato. El más joven de los asistentes al almuerzo y de los signatarios era un americano de veinticinco años llamado James Watson.

El siguiente número de *Nature* incluiría otra carta de Watson y de su colaborador, Francis Crick, que los haría famosos. Habían descubierto el gen.

Se había llegado al consenso de que cualquier gen, independientemente de cómo funcionara, probablemente estaba formado por proteínas: moléculas orgánicas gigantescas hechas de largas cadenas de aminoácidos. Por otra parte, durante los años cuarenta unos cuantos genetistas habían centrado su interés, en cambio, en ciertos virus, los fagos. Luego, los experimentos sobre la herencia en las bacterias habían llevado a otros investigadores, entre ellos a Watson y Crick, a la convicción de que los genes podían estar en una sustancia distinta,^[10.13] que, por razones desconocidas, se encontraba en el núcleo de todas las células, plantas o animales, incluidos los fagos. Dicha sustancia era un ácido nucleico, concretamente el desoxirribonucleico, o ADN. Los investigadores que trabajaban con ácidos nucleicos, principalmente químicos, no habían sido capaces de conocer gran cosa de él, excepto que sus moléculas estaban formadas por unidades más pequeñas, llamadas nucleótidos. Watson y Crick pensaron que ese debía de ser el secreto, y trabajaron a toda máquina para descifrar su estructura en los Laboratorios Cavendish de Cambridge. No podían ver esas moléculas; lo único que podían hacer era buscar pistas en las sombras producidas por la difracción de rayos X. Pero sabían mucho sobre las subunidades. Cada nucleótido contenía una «base», y solo había cuatro bases distintas, denominadas A, C, G y T. Estaban en proporciones estrictamente previsibles. Debían de ser las letras del código. El resto no eran más que ejercicios de prueba y error, alimentados por la imaginación.

Lo que descubrieron se convirtió en todo un icono: la doble hélice, anunciada en las portadas de todas las revistas y emulada en la escultura. El ADN está formado por dos largas secuencias de bases, como cifras codificadas en un alfabeto de cuatro letras, y cada secuencia es complementaria de la otra, y las dos están enrolladas juntas. Una vez abiertas, cada hebra puede servir como plantilla para su repetición. (¿Era un «cristal aperiódico» de Schrödinger? En términos de estructura física, la difracción de rayos X demostraba que el ADN es completamente regular. La aperioidicidad está en el nivel abstracto del lenguaje, en la secuencia de «letras»). Crick anunció lleno de entusiasmo en la taberna del barrio a todo el que quiso escucharlo que habían descubierto «el secreto de la vida»; en su nota de una sola página de extensión aparecida en la revista *Nature*,

los dos investigadores se mostraron más circunspectos. Acababan con un comentario que ha sido llamado «una de las afirmaciones más tímidas de la bibliografía científica»:[10.14]

No se nos ha pasado por alto que el emparejamiento específico que postulamos sugiere inmediatamente un posible mecanismo de copia del material genético.
[10.15]

En otro artículo publicado unas semanas después prescindieron de la timidez. En cada cadena, la secuencia de bases parecía que era irregular: según observaban, cualquier secuencia era posible. «De ello se deduce que en una molécula larga son posibles muchas permutaciones distintas.»[10.16] Muchas permutaciones, muchos mensajes posibles. El siguiente comentario hizo que se encendieran las alarmas a uno y otro lado del Atlántico: «Por consiguiente, parece verosímil que la secuencia concreta de las bases sea el código que lleva la información genética». Cuando utilizaban estos términos, *código* e *información*, ya no hablaban en sentido figurado.

Las macromoléculas de la vida orgánica expresan una información dentro de una estructura muy intrincada. Una sola molécula de hemoglobina comprende cuatro cadenas de polipéptidos, dos con ciento cuarenta y un aminoácidos y dos con ciento cuarenta y seis, en una estricta secuencia lineal, unidas y plegadas juntas. Los átomos de hidrógeno, oxígeno, carbono y hierro podrían mezclarse aleatoriamente durante toda la vida del universo y sería tan poco probable que formaran hemoglobina como que los chimpancés del cuento escribieran las obras de Shakespeare. Su génesis requiere energía, están compuestos de elementos más simples, responden menos a un patrón, y en ella tiene aplicación la ley de la entropía. En la vida terrena, la energía procede, al igual que los fotones, del sol. La información viene a través de la evolución.

La molécula de ADN era especial: la información que porta es su única función. Cuando reconocieron este detalle, los microbiólogos se volcaron en el problema del desciframiento del código. Crick, que tuvo la inspiración de abandonar la física para dedicarse a la biología tras leer el *¿Qué es la vida?* de Schrödinger, envió a este una copia de su artículo, pero no recibió respuesta.

Por otra parte, George Gamow vio el informe Watson-Crick cuando visitó el Laboratorio de Radiación de Berkeley. Gamow —el creador de la Teoría del Big Bang— era un cosmólogo nacido en Ucrania y sabía lo que era una gran idea cuando veía una. Les escribió entonces la siguiente carta:

Queridos Doctores Watson y Crick.

Yo soy físico, no biólogo [...] Pero estoy sumamente entusiasmado con su artículo del número de *Nature* del 30 de mayo, y creo que sitúa a la biología en el grupo de las ciencias «exactas» [...] Si su punto de vista es correcto, cada organismo se caracterizará por un gran número escrito en un sistema cuadrúcel (?) en el que las cifras 1, 2, 3, y 4 representarían las distintas bases [...] Ello abriría una interesantísima posibilidad de investigación teórica basada en la matemática combinatoria y en la teoría de los números [...] Tengo la sensación de que puede hacerse. ¿Qué piensan ustedes?^[10.17]

Durante la década siguiente, la lucha por la comprensión del código genético ocupó a una enorme cantidad de los grandes cerebros del mundo, muchos de los cuales, como Gamow, carecían de conocimientos útiles de bioquímica. Para Watson y Crick, el problema inicial se había basado en un laberinto de detalles especializados: enlaces de hidrógeno, puentes salinos, cadenas de azúcar-fosfato con residuos de desoxirribofuranosa [...] Tuvieron que aprender cómo podían organizarse en tres dimensiones unos iconos inorgánicos; tuvieron que calcular ángulos exactos de enlaces químicos. Crearon modelos utilizando cartón y planchas de hojalata. Pero el problema estaba convirtiéndose en un juego abstracto de manipulación de símbolos. Estrechamente unido al ADN, su primo de hebra sencilla, el ARN, parecía desempeñar el papel de mensajero o traductor. Gamow decía explícitamente que la química que se ocultaba tras él no tenía demasiada importancia. Tanto él como algunos seguidores suyos interpretaban estas sustancias como un rompecabezas matemático, un mapeo entre mensajes en alfabetos distintos. Si de lo que se trataba era de un problema de codificación, los instrumentos que necesitaban se los proporcionarían la combinatoria y la teoría de la información. Además de los físicos, consultaron a los especialistas en criptoanálisis.

El propio Gamow empezó impulsivamente a diseñar un código combinatorio. A su juicio, el problema consistía en pasar de las cuatro bases del

ADN a los veinte aminoácidos conocidos en las proteínas, un código, pues, con cuatro letras y veinte palabras.^(10.ii) La simple combinatoria lo llevaba a pensar en tripletes de nucleótidos: palabras de tres letras. Alcanzó una solución detallada —enseguida denominada el «código de diamante»— que fue publicada en *Nature* al cabo de unos meses. Unos pocos meses más tarde, Crick demostró que era completamente falso: los datos experimentales acerca de las secuencias de las proteínas excluían el código de diamante. Un inesperado grupo de científicos se unieron al juego: Max Delbrück, un ex físico ocupado en aquellos momentos en el departamento de biología del Instituto de Tecnología de California (Caltech); su amigo Richard Feynman, el teórico de la mecánica cuántica; Edward Teller, el famoso creador de la bomba; otro graduado del Laboratorio Nacional de Los Álamos, el matemático Nicholas Metropolis; y Sydney Brenner, que se unió a Crick en Cavendish.

Todos ellos tenían ideas distintas sobre la codificación. Matemáticamente el problema le parecía tremendo incluso a Gamow. «Como sucediera con el desciframiento de los mensajes del enemigo durante la guerra», escribía en 1954, «el éxito depende de la longitud del texto codificado del que dispongamos. Como cualquier oficial de los servicios de inteligencia les dirá, el trabajo es muy duro, y el éxito depende sobre todo de la suerte [...] Me temo que el problema no pueda resolverse sin la ayuda de una computadora electrónica».^[10.18] Gamow y Watson decidieron crear un club: el RNA Tie Club («Club de la Corbata del ARN»), formado exactamente por veinte socios. Cada uno de ellos recibió una corbata de lana negra y verde, confeccionada según diseño de Gamow por un camisero de Los Ángeles. Aparte de lo que se traía entre manos, Gamow deseaba crear un canal de comunicación para soslayar la publicación de los trabajos en las revistas. Las noticias en el mundo de la ciencia no se habían movido nunca con tanta rapidez. «Muchos conceptos básicos eran propuestos primero en debates informales a uno y otro lado del Atlántico y luego eran transmitidos inmediatamente a los expertos», decía otro socio, Gunther Stent, «por una radio macuto privada internacional».^[10.19] Había salidas falsas, conjeturas descabelladas, y callejones sin salida, y la comunidad más aposentada de bioquímicos no siempre seguía el compás de buena gana.

«La gente no *creía* necesariamente en el código», diría luego Crick. «El pensamiento de la mayoría de los bioquímicos sencillamente no seguía esa línea.

Se trataba de una idea completamente nueva, y además casi todos se inclinaban a pensar que era una simplificación excesiva».^[10.20] Pensaban que la mejor manera de entender las proteínas era estudiar el sistema enzimático y el acoplamiento de las unidades de péptidos. Lo que era bastante razonable.

Pensaban que la síntesis de proteínas no podía ser una simple cuestión de codificación de una cosa en otra; sonaba demasiado a algo que había inventado un *físico*. No les sonaba a bioquímica [...] Así que se produjo cierta resistencia a las ideas sencillas como la codificación de un aminoácido por tres nucleótidos; la gente creía que todo aquello no era más que un timo.

En el otro extremo, Gamow soslayaba los detalles bioquímicos para plantear una idea de una sencillez sorprendente: el postulado de que cualquier organismo humano estaba determinado por «un número muy largo escrito en un sistema de cuatro dígitos».^[10.21] Él lo llamaba «el número de la bestia» (inspirándose en el libro del Apocalipsis). Si dos bestias tienen el mismo número, son gemelos idénticos.

Para entonces la palabra *código* estaba tan profundamente incorporada en la conversación de la gente que prácticamente nadie se paraba a pensar lo extraordinario que era encontrar una cosa semejante —unos símbolos abstractos que representaban arbitrariamente otros símbolos abstractos distintos— actuando en la química, al nivel de las moléculas. El código genético desempeñaba una función que tenía unas semejanzas curiosísimas con el código matemático inventado por Gödel con fines filosóficos. El código de Gödel sustituye los simples números por expresiones y operaciones matemáticas; el código genético utiliza tripletes de nucleótidos para representar los aminoácidos. Douglas Hofstadter fue el primero que hizo esta asociación de manera explícita en los años ochenta: «entre la compleja maquinaria existente en una célula viva que permite a una molécula de ADN replicarse y la maquinaria inteligente existente en un sistema matemático que permite a una fórmula decir cosas sobre sí misma».^[10.22] En ambos casos Hofstadter veía un retorcido círculo de realimentación. «Nadie había sospechado nunca ni por lo más remoto que un conjunto de sustancias químicas pudiera *codificar* a otro», llegó a decir.

En efecto, la simple idea resulta un tanto desconcertante: si existe un código,

¿quién lo inventó? ¿Qué tipo de mensajes están escritos en él? ¿Quién los escribe?
¿Quién los lee?

El Tie Club reconocía que el problema no era solo el almacenamiento de la información, sino la transferencia de esta. El ADN desempeña dos funciones distintas. En primer lugar, protege la información. Y lo hace copiándola de generación en generación, a lo largo de eones: una Biblioteca de Alejandría que mantiene sus datos a salvo copiándose miles de millones de veces. A pesar de la hermosa doble hélice, este almacén de información es esencialmente unidimensional: una serie de elementos puestos en línea. En el ADN humano, las unidades de nucleótidos son más de mil millones, y este detallado mensaje de un giga de grande debe conservarse perfectamente, o casi perfectamente. En segundo lugar, sin embargo, el ADN envía también esa información hacia el exterior para ser usada en la creación del ser vivo. Los datos almacenados en una hebra unidimensional tienen que seguir prosperando en tres dimensiones. Esta transferencia de la información se produce a través de mensajes que pasan de los ácidos nucleicos a las proteínas. Así, pues, el ADN no solo se replica a sí mismo, sino que por otra parte determina la fabricación de algo completamente distinto. Esas proteínas, con su enorme complejidad, sirven como el material que compone un cuerpo, hacen las veces del cemento y los ladrillos, y también de sistema de control, son las tuberías y los cables y las señales químicas que controlan el crecimiento.

La réplica del ADN es una copia de la información. La fabricación de proteínas es una transferencia de información, el envío de un mensaje. Los biólogos podían verlo ya con toda claridad, pues el *mensaje* se hallaba bien definido y había sido extraído de un sustrato concreto. Si los mensajes podían ser transmitidos en ondas sonoras o en vibraciones eléctricas, ¿por qué no podían ser transmitidos por procesos químicos?

Gamow formulaba el problema de una manera muy simple: «El núcleo de una célula viva es un almacén de información».^[10.23] Además, decía, es un transmisor de información. La continuidad de cualquier vida deriva de este «sistema de información»; el estudio propio de la genética es «el lenguaje de las células».

Cuando se demostró que el código de diamante no era exacto, Gamow

intentó un «código triangular», y tras este ensayo vinieron otras variaciones. Seguían teniendo una importancia capital los tripletes de codones, y parecía que la solución de todo el problema estaba muy cerca, aunque todavía fuera de su alcance. Uno de los problemas era cómo delimitaba la naturaleza las hebras aparentemente continuas de ADN o ARN. Nadie sabía encontrar un equivalente biológico de las pausas que separan las letras en el código Morse, o los espacios que separan las palabras. Quizá cada cuarta base equivalía a una coma. O quizá (sugería Crick) las comas podían ser innecesarias si unos tripletes tenían «sentido» y otros no lo tenían.^[10.24] Por otra parte, quizá era preciso que en un determinado momento se pusiera en marcha una especie de lector de cinta que iba contando los nucleótidos de tres en tres. Entre los matemáticos que se vieron atraídos por este problema hubo un grupo del recién creado Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL, por sus siglas en inglés) de Pasadena, California, que supuestamente se dedicaba a la investigación aeroespacial. Según ellos, se trataba de un problema clásico de la teoría de la codificación de Shannon: «La secuencia de nucleótidos [concebido] como un mensaje infinito, escrito sin puntuación, una porción finita del cual debe poder decodificarse en una secuencia de aminoácidos mediante la adecuada inserción de comas».^[10.25] Se encargaron así de confeccionar un *diccionario* de códigos. Y estudiaron el problema de los *errores*.

La bioquímica tenía mucha importancia. Ningún experto en criptoanálisis del mundo, al carecer de placas de Petri y de cocinas de laboratorio, habría sido capaz de realizar una conjetura entre la enorme cantidad de posibles respuestas. Cuando se resolvió el código genético a comienzos de los años sesenta, se descubrió que estaba lleno de redundancias. Buena parte del mapeo de los nucleótidos en los aminoácidos parecía arbitrario, y no presentaba un modelo tan claro como el de cualquiera de las propuestas de Gamow. Algunos aminoácidos correspondían solo a un codón, y otros a dos, o a cuatro o a seis. Ciertas partículas llamadas ribosomas se multiplican a lo largo de la hebra de ARN y la traducen, de tres en tres bases cada vez. Algunos codones son redundantes; otros sirven en realidad como señales de inicio o señales de parada. La redundancia tiene exactamente la finalidad que cualquier teórico de la información esperaría. Permite tolerar los errores. El ruido afecta a los mensajes biológicos como a los de cualquier otro tipo. Los errores —erratas— en el ADN son mutaciones.

Antes incluso de que se llegara a la respuesta exacta, Crick articuló sus principios fundamentales en una afirmación que denominó (y sigue denominándose) el Dogma Central. Se trata de una hipótesis en torno a la dirección que sigue la evolución y al origen de la vida; es demostrable según la entropía de Shannon en los posibles alfabetos químicos:

Una vez que la «información» ha pasado a la proteína *ya no puede salir*. Más detalladamente, el traspaso de información de ácido nucleico a ácido nucleico, o de ácido nucleico a proteína quizá sea posible, pero el traspaso de proteína a proteína o de proteína a ácido nucleico es imposible. La información significa aquí la determinación *precisa* de la secuencia.^[10.26]

El mensaje genético es independiente e impenetrable: ninguna información proveniente de sucesos externos puede cambiarlo.

La información no había sido escrita nunca en una letra tan pequeña. Se trata de una escritura en escala Angstrom, publicada donde nadie puede verla, el Libro de la Vida copiado en el ojo de una aguja.

Omne vivum ex ovo. «Toda la descripción del ser vivo ya está escrita íntegramente en el huevo», dijo en Cambridge en el invierno de 1971 Sydney Brenner a Horace Freeland Judson, gran cronista de la biología molecular.^[10.27] «Dentro de cualquier animal hay una descripción interna de dicho animal [...] Lo que va a ser difícil es saber la inmensa cantidad de detalles que habrá que subsumir. El lenguaje más económico para una descripción es la descripción genética, molecular, ya existente en él. En ese lenguaje todavía no sabemos cuáles son los *nombres*. ¿Qué nombres se da *a sí mismo* el organismo? Por ejemplo, no podemos decir que un ser vivo disponga de un nombre para designar un dedo. No existe ninguna garantía de que al hacer una mano, la explicación pueda expresarse en los términos que utilizamos nosotros para hacer un guante».

Brenner estaba muy pensativo, mientras tomaba un jerez antes de cenar en King's College. Cuando empezó a trabajar con Crick, menos de veinte años antes, la biología molecular ni siquiera tenía todavía nombre. Dos décadas más tarde, ya en los años noventa, los científicos de todo el mundo emprenderían la tarea de elaborar el mapa de todo el genoma humano: quizá veinte mil genes,

tres mil millones de pares de bases. ¿Cuál había sido el cambio más trascendental? Había sido un desplazamiento del marco de referencia, que había pasado de la energía y la materia a la información.

«Hasta los años cincuenta toda la bioquímica se había ocupado de dónde se obtiene la energía y los materiales para la función celular», decía Brenner. «Los bioquímicos solo pensaban en el flujo de energía y en el flujo de materia. Los expertos en biología molecular empezaron a hablar del flujo de información. Si echamos la vista atrás, podemos ver que la doble hélice nos llevó a darnos cuenta de que la información en los sistemas biológicos puede estudiarse de la misma manera que la energía y la materia...».

«Fíjese», le dijo a Judson, «permítame que le ponga un ejemplo. Si hubiera ido usted hace veinte años a un biólogo y le hubiera preguntado: “¿Cómo hace usted una proteína?”, le habría dicho: “Bueno, es un problema horrible, no sé [...] pero la cuestión más importante es de dónde se saca la energía para crear el enlace peptídico”. Mientras que el biólogo molecular diría: “Eso no es un problema, el problema importante es dónde se consiguen las instrucciones para unir la secuencia de aminoácidos, ¡al diablo con la energía! ¡La energía ya se buscará sola!”».

Para entonces, la jerga técnica de los biólogos incluía los términos *alfabeto*, *biblioteca*, *edición*, *corrección de pruebas*, *transcripción*, *traducción*, *sin sentido*, *sinónimo* y *redundancia*. La genética y el ADN habían llamado la atención no solo de los expertos en criptografía, sino también de los lingüistas clásicos. Se vio que ciertas proteínas, capaces de pasar de un estado relativamente estable a otro, actuaban a modo de relés, aceptando órdenes cifradas y pasándolas a sus vecinas, conmutando su situación en redes tridimensionales de comunicación. Mirando hacia el futuro, Brenner pensaba que el centro de interés se trasladaría también a la ciencia de la computación. Aunque todavía no llevaba ese nombre, imaginaba una ciencia envuelta en el caos y la complejidad. «Creo que en los próximos veinticinco años vamos a tener que enseñar todavía otro lenguaje a los biólogos. Todavía no sé cómo se llama; nadie lo sabe. Pero creo que el objetivo que perseguimos es el problema fundamental de la teoría de unos sistemas elaborados». Recordaba a John von Neumann, en los albores de la teoría de la información y de la cibernética, proponiendo abordar los procesos biológicos y mentales en términos de cómo

podía operar una máquina computadora. «En otras palabras», decía Brenner, «allí donde una ciencia como la física opera en términos de leyes, o una ciencia como la biología molecular en la actualidad se expresa en términos de mecanismos, quizá en lo que tiene uno que empezar a pensar es en algoritmos. En recetas. En procedimientos».

Si quieres saber lo que es un ratón, pregúntate más bien cómo podrías construir un ratón. ¿Cómo se construye el ratón a sí mismo? Los genes del ratón se conmutan, encendiéndose y apagándose mutuamente y llevan a cabo una computación, paso a paso. «Tengo la impresión de que esa nueva biología molecular va a ir en esa dirección, va a explorar los computadores lógicos de alto nivel, los programas, los algoritmos del desarrollo...».

«Le gustaría a uno poder fundir las dos, ser capaz de moverse entre el hardware molecular y el software *lógico* de cómo está organizado todo, sin tener la sensación de que son ciencias distintas».

Incluso en aquellos momentos —o mejor dicho, especialmente en aquellos momentos— el gen no era lo que parecía. Tras empezar siendo la corazonada de un botánico y una conveniencia algebraica, había sido localizado en el cromosoma y se había revelado como una hebra molecular enrollada. Había sido descodificado, enumerado y codificado. Y luego, en el apogeo de la biología molecular, la idea del gen cortaba amarras una vez más.

Cuanto más se sabía, más difícil resultaba definirlo. ¿Acaso un gen no es ni más ni menos que ADN? ¿Está hecho de ADN, o es algo que *porta* el ADN? ¿Se concreta acaso propiamente como algo material?

Tampoco todo el mundo estaba de acuerdo en afirmar que había un problema. Gunther Stent afirmaba en 1977 que uno de los grandes triunfos de este campo había sido la «identificación inequívoca» del gen de Mendel como una longitud especial de ADN. «En este sentido es en el que utilizan ahora el término “gen” todos los genetistas», escribía.^[10.28] Dicho técnicamente, pero de manera sucinta: «El gen es, en realidad, una serie lineal de nucleótidos de ADN que determina una serie lineal de aminoácidos proteicos». Había sido Seymour Benzer, decía Stent, el que había establecido definitivamente ese principio.

Pero el propio Benzer no era tan optimista. Ya en 1957 sostenía que el gen

clásico había muerto. Era un concepto que pretendía servir a tres fines a la vez —como unidad de recombinación, como unidad de mutación y como unidad de función— y él ya tenía motivos bastante fundamentados para sospechar que eran incompatibles. Una hebra de ADN porta muchos pares de bases, como las cuentas de un collar o las letras de toda una frase; como objeto físico, no podía ser denominado una unidad elemental. Benzer ofrecía un auténtico lote de nombres de nuevas partículas: «recón», para la unidad más pequeña susceptible de ser intercambiada por una recombinación; «mutón», para la unidad más pequeña de cambio mutacional (un solo par de bases); y «cistrón» para la unidad de función, que, según él mismo reconocía, era muy difícil de definir. «Depende de a qué nivel de función nos refiramos», decía, tal vez solo la especificación de un aminoácido, o quizá todo un conjunto de pasos «que conducen a *un* determinado efecto fisiológico».^[10.29] El *gen* no desaparecía, pero la carga que debía soportar era demasiado grande para una palabra tan pequeña.

Lo que estaba sucediendo era en parte una colisión entre la biología molecular y la biología evolutiva, estudiada en campos que iban desde la botánica a la paleontología. Se trataba de una colisión muy fructífera, sin parangón en la historia de la ciencia: en poco tiempo, ni uno ni otro bando podría avanzar sin el otro, pero de momento saltarían algunas chispas. Varias de ellas fueron provocadas por un joven zoólogo de Oxford, Richard Dawkins. Dawkins opinaba que muchos de sus colegas miraban la vida al revés.

Al tiempo que la biología molecular perfeccionaba su conocimiento de los detalles del ADN y aumentaba su capacidad de manejar esos prodigios moleculares, era natural ver en ellos la respuesta a la gran cuestión de la vida: ¿Cómo se reproducen los organismos a sí mismos? Utilizamos el ADN igual que usamos los pulmones para respirar o los ojos para ver. Lo *utilizamos*. «Esta actitud es un error de gran profundidad», escribía Dawkins. «Es la verdad puesta estrepitosamente patas arriba».^[10.30] El ADN fue lo primero —hace miles de millones de años— y el ADN es lo primero actualmente, sostenía, cuando la vida se contempla desde la perspectiva adecuada. Desde esa perspectiva, los genes son el punto focal, la condición sine qua non, la estrella del espectáculo. En su primer libro —publicado en 1976, dirigido al gran público y titulado provocativamente *El gen egoísta*— dio lugar a décadas de debate al declarar: «Somos máquinas de supervivencia, vehículos autómatas programados a ciegas

para preservar las moléculas egoístas llamadas genes».^[10.31] Y afirmaba que se trataba de una verdad que conocía desde hacía años.

Los genes, no los seres vivos, son las verdaderas unidades de selección natural. Empezaron siendo «replicadores», moléculas formadas accidentalmente en el caldo primigenio, con la insólita propiedad de hacer copias de sí mismas.

Son maestros pretéritos de las artes supervivientes. Pero no los busquemos flotando sueltos en el mar; hace mucho que abandonaron esa libertad desdeñosa. Ahora bullen en colonias enormes, seguros dentro de unos robots gigantescos y pesados, aislados del mundo exterior, comunicándose con él por tortuosas rutas indirectas, manipulándolo por control remoto. Están en ustedes y están en mí; nos crearon, en cuerpo y alma; y su preservación es el fundamento final de nuestra existencia: Han recorrido un largo camino esos replicadores. Ahora llevan el nombre de genes, y nosotros somos sus máquinas supervivientes.^[10.32]

Era seguro que esto levantaría ampollas en ciertos seres vivos que se consideraban a sí mismos algo más que simples robots. «Recientemente el biólogo inglés Richard Dawkins me ha puesto los pelos de punta», escribía Stephen Jay Gould en 1977, «con su afirmación de que los genes son unidades de selección, y de que las personas son meros receptáculos temporales suyos».^[10.33] Gould encontró muchísimos seguidores. En nombre de numerosos especialistas en biología molecular, Gunther Stent rechazó a Dawkins diciendo de él que era un «estudioso del comportamiento animal de apenas treinta y seis años» y encasillándolo en la «vieja tradición precientífica del animismo, según la cual los objetos naturales están dotados de alma».^[10.34]

Pero el libro de Dawkins era brillante y supuso una auténtica transformación. Establecía un nuevo concepto del gen. Al principio, la idea del gen egoísta se vio como un juego de perspectivas o un chiste. Samuel Butler había dicho cien años antes —y no pretendía ser el primero en decirlo— que una gallina no es más que la forma que tiene un huevo de hacer otro huevo. A su manera, Butler hablaba muy en serio:

Debe permitirse a todas las criaturas que «administren» su desarrollo a su manera; la manera escogida por el huevo puede parecer una forma muy retorcida de hacer las cosas; pero *es* su manera, y en cualquier caso es una manera de la que el hombre, en definitiva, no tiene ningún motivo de queja. Por qué debemos

considerar al pollo más vivo que al huevo, y por qué debemos decir que la gallina pone el huevo, y no que el huevo pone la gallina, son cuestiones que se sitúan más allá de la facultad de explicación filosófica, pero quizá puedan responderse sobre todo si tenemos en cuenta la vanidad del hombre y su costumbre inveterada de ignorar todo aquello que no le recuerde a sí mismo.^[10.35]

Y añadía: «Pero al fin y al cabo la verdadera razón tal vez sea que el huevo no cacarea cuando ha puesto la gallina». Algún tiempo más tarde, el modelo de Butler que afirmaba *X no es más que la manera que tiene Y de hacer otro Y*, empezó a reaparecer en muchas formas distintas. «Un erudito», decía Daniel Dennett en 1995, «no es más que la manera que tiene un bibliotecario de hacer otro bibliotecario».^[10.36] Y tampoco Dennett hablaba completamente en broma.

Quizá fuera una especie de profecía por parte de Butler burlarse en 1878 de la visión de la vida centrada en el hombre, pero lo cierto es que había leído a Darwin y podía darse cuenta de que la totalidad de la creación no había sido concebida en beneficio del *Homo sapiens*. «El antropocentrismo es un vicio que incapacita al intelecto», diría Edward O. Wilson un siglo más tarde,^[10.37] pero el cambio de perspectiva que ofrecía Dawkins era incluso más radical. No solo quitaba de en medio al ser humano (y a la gallina), sino también al organismo, en todo su variado esplendor. ¿Cómo era posible que la biología *no* fuera el estudio de los seres vivos? A lo sumo, minimizaba esta dificultad cuando decía: «Requiere un esfuerzo mental deliberado volver a poner en su sitio a la biología, y traer a nuestra memoria que los replicadores fueron lo primero, tanto por su importancia como desde el punto de vista histórico».^[10.38]

Lo que perseguía Dawkins era en parte explicar el altruismo: una conducta del individuo que va contra sus propios intereses. La naturaleza está llena de ejemplos de animales que arriesgan la vida en aras de su prole, de sus primos, o simplemente de otros miembros de su propio club genético. Además, comparten su comida; cooperan construyendo colmenas y presas; o protegen con tenacidad sus huevos. Para explicar esa conducta —o si se quiere, para explicar cualquier adaptación— hay que plantearse la típica pregunta de los detectives: *cui bono?* ¿Quién se beneficia cuando un ave localiza a un depredador y grita avisando al resto de la bandada, pero también llamando de paso la atención sobre sí misma? Resulta tentador pensar en el bien de la colectividad —la familia, la tribu o la especie—, pero la mayoría de los teóricos están de acuerdo en que la

evolución no actúa de esa forma. La selección natural rara vez puede operar a nivel de colectividades. Resulta, sin embargo, que muchas explicaciones encajan si pensamos que los individuos intentan propagar su particular colección de genes en el futuro. Su especie comparte la mayoría de esos genes, por supuesto, y su familia todavía más. Por supuesto el individuo no conoce sus genes. No intenta hacer *conscientemente* nada parecido. Ni desde luego nadie atribuiría una intención al propio gen, entidad diminuta y carente de cerebro. Pero, como demostraba Dawkins, funciona muy bien la idea de cambiar las perspectivas y decir que el gen actúa con el fin de maximizar su replicación. Por ejemplo, un gen «podría asegurar su supervivencia tendiendo a dotar a otros cuerpos sucesivos de piernas largas que ayuden a esos cuerpos a escapar de sus depredadores».^[10.39] Un gen podría maximizar su número dando a un organismo el impulso instintivo a sacrificar su vida para salvar a sus descendientes: el propio gen, esa agrupación en concreto de ADN, muere con el ser que lo porta, pero las copias del gen siguen viviendo. Este proceso es ciego. No tiene previsión, ni intención, ni conocimiento. Y también los genes son ciegos: «No hacen planes de antemano», afirma Dawkins. «Los genes simplemente *son*, unos más que otros, y eso es todo en lo que consisten».^[10.40]

La historia de la vida comienza con la aparición accidental de moléculas lo bastante complejas para servir de bloques de construcción, esto es de replicadores. El replicador es un portador de información. Sobrevive y se propaga copiándose a sí mismo. Las copias deben ser coherentes y fiables, pero no tienen que ser perfectas; por el contrario, para que la evolución siga adelante, tienen que aparecer errores. Los replicadores podrían existir mucho antes que el ADN, incluso antes que las proteínas. Según una hipótesis, propuesta por el biólogo escocés Alexander Cairns-Smith, los replicadores aparecieron en capas pegajosas de cristales de arcilla: moléculas complejas de silicatos. Según otros modelos, el terreno de juego de la evolución es el «caldo primigenio» tradicional. Sea como sea, algunas de esas macromoléculas portadoras de información se desintegran con más rapidez que otras; algunas hacen copias más numerosas o mejores; y algunas tienen el efecto químico de destruir las moléculas que les hacen la competencia. Absorbiendo la energía de los fotones como los demonios de Maxwell en miniatura que son, las moléculas de ácido ribonucleico, ARN, catalizan la formación de moléculas más grandes y más ricas

en información. El ADN, siempre ligeramente más estable, posee la doble capacidad de copiarse a sí mismo y de fabricar otro tipo de moléculas, y eso le confiere una ventaja especial. Puede protegerse construyendo a su alrededor una concha de proteínas. Esa es la «máquina de supervivencia» de Dawkins: primero células, luego cuerpos cada vez más grandes, con inventarios cada vez mayores de membranas y tejidos, y extremidades, y órganos y habilidades. Son los complicados vehículos de los genes, que echan carreras con otros vehículos, convierten la energía, e incluso procesan la información. En el juego de la supervivencia algunos vehículos juegan mejor, maniobran mejor, y se propagan mejor que otros.

Se tardó algún tiempo, pero la perspectiva centrada en el gen y basada en la información dio paso a un nuevo tipo de trabajo detectivesco para rastrear la historia de la vida. Allí donde los paleontólogos buscan a través de los fósiles los precursores óseos de alas y colas, los biólogos moleculares y los biofísicos buscan restos elocuentes de ADN en la hemoglobina, los oncogenes, y todo lo que queda de la biblioteca de proteínas y enzimas. «Está naciendo una arqueología molecular», afirma Werner Loewenstein.^[10.41] La historia de la vida está escrita en términos de entropía negativa. «Lo que evoluciona realmente es la información en todas sus formas o transformaciones. Si existiera algo parecido a una guía de los seres vivos, creo que su primera línea diría como un mandamiento bíblico: *Que se multiplique tu información*».

Ningún gen crea un ser vivo. Los insectos, las plantas y los animales superiores son vehículos colectivos, comunes, asambleas cooperativas de una multitud de genes, cada uno de los cuales desempeña su papel en el desarrollo del ser vivo. Se trata de un conjunto complejo en el que cada gen interactúa con millares de otros genes en una jerarquía de efectos que se extienden en el espacio y en el tiempo. El cuerpo es una colonia de genes. Naturalmente, actúa, se mueve y procrea como una unidad, y además, en el caso por lo menos de una especie, piensa, con una seguridad impresionante, que es una unidad. La perspectiva centrada en el gen ha ayudado a los biólogos a apreciar que los genes que componen el genoma humano son solo una fracción de los genes que son portados por una sola persona, pues los humanos (como las demás especies)

albergan todo un ecosistema de microbios —especialmente bacterias— desde nuestra piel a nuestro sistema digestivo. Nuestros «microbiomas» nos ayudan a digerir nuestro alimento y a luchar contra nuestras enfermedades, y al mismo tiempo evolucionan con rapidez y flexibilidad al servicio de sus propios intereses. Todos esos genes participan de un grandioso proceso de co-evolución mutua, compitiendo unos con otros, y con sus correspondientes alelos, en un vasto acervo génico, pero sin competir ya solos. Su éxito o su fracaso se producen a través de la interacción. «La selección favorece a los genes que tienen éxito *ante otros genes*», dice Dawkins, «*que a su vez tienen éxito ante ellos*». ^[10.42]

El efecto de cada gen depende de esas interacciones con el conjunto y depende también de los efectos del entorno y de la pura casualidad. De hecho, solo hablar del *efecto* de un gen se convertía en algo complejo. No bastaba simplemente con decir que el efecto de un gen es la proteína que sintetiza. Podría uno querer decir que una oveja o una vaca tienen un gen del color negro. Podría ser un gen que fabricara una proteína para el pigmento negro en la lana o en las plumas. Pero tanto las ovejas y las vacas como todos los demás seres capaces de tener color negro lo exhiben en circunstancias y grados distintos; incluso una cualidad aparentemente tan sencilla raramente tiene un conmutador de encendido y apagado biológico. Dawkins plantea el caso de un gen que sintetiza una proteína que actúa como un enzima con muchos efectos indirectos y distantes, uno de los cuales es facilitar la síntesis del pigmento negro. ^[10.43] En un caso incluso más remoto, supongamos un gen que anima a un organismo a buscar la luz del sol, que es, a su vez, necesaria para el pigmento negro. Ese gen sirve como simple cómplice de la conspiración, pero su papel puede ser indispensable. Sin embargo, llamarlo el gen *del* pigmento negro resulta difícil. Y más complicado todavía resulta especificar los genes de otras cualidades más complejas: el gen de la obesidad, el de la agresividad, el de la construcción de nidos, el de la inteligencia o el de la homosexualidad.

¿Hay genes de semejantes cosas? No, si un gen es una determinada hebra de ADN que expresa una proteína. En sentido estricto, no cabe decir que hay genes *de* casi todo, ni siquiera del color de los ojos. Antes bien, deberíamos decir que las diferencias en los genes tienden a causar diferencias de fenotipo (el ser vivo hecho realidad). Pero desde los primeros tiempos del estudio de la herencia

genética, los científicos han hablado de los genes en sentido más lato. Si una población varía en algún rasgo —pongamos por caso la estatura— y si esa variación está sujeta a la selección natural, se trata por definición de un rasgo en parte al menos genético. Existe un componente genético en la variación de la estatura. No hay gen de las piernas largas,^[10.44] ni siquiera hay gen de las piernas. Construir una pierna exige muchos genes, cada uno de los cuales da órdenes en forma de proteínas; unos fabrican materias primas, y otros fabrican temporizadores y conmutadores de encendido y apagado. Algunos de esos genes tienen con toda seguridad el efecto de hacer las piernas más largas de lo que habrían sido sin ellos, y son esos genes los que llamamos, en forma abreviada, genes *de* las piernas largas: siempre y cuando no olvidemos que la longitud de las piernas no está representada ni codificada directamente en el gen.

De ese modo, los genetistas, los zoólogos, los etólogos y los paleontólogos han acabado por coger el hábito de hablar del «gen del rasgo X», en vez de la «contribución genética a la variación del rasgo X».^[10.45] Dawkins los obligaba a enfrentarse a las consecuencias lógicas de ese hábito. Si hay una variación genética de un rasgo —ya sea el color de los ojos o la obesidad—, tiene que haber un gen o unos genes de ese rasgo. No importa que en realidad la aparición de ese rasgo dependa de una serie insondable de otros factores que pueden ser ambientales o incluso accidentales. A modo de ejemplo, ofrecía uno deliberadamente extremo: el gen de la lectura.

La idea puede parecer absurda por varios motivos. Leer es una conducta aprendida. Nadie nace con la capacidad de leer. Si hay una destreza que depende de factores ambientales, como la educación, esa es la lectura. Hasta hace unos pocos milenios, dicha conducta no existía, de modo que no podía estar sujeta a la selección natural. Cabría también decir (como de hecho ha dicho en broma el genetista John Maynard Smith) que hay un gen de la capacidad de atarse los cordones de los zapatos. Pero Dawkins no se inmutó. Señaló que al fin y al cabo los genes tienen que ver con las *diferencias*. De modo que empezaba planteando un contrapunto muy sencillo: ¿No era posible que hubiera un gen de la dislexia?

Todo lo que se necesita para establecer la existencia de un gen de la lectura es descubrir un gen de la no lectura, digamos un gen que produjera una lesión cerebral capaz de causar una dislexia específica. Esa persona disléxica puede ser normal e inteligente en todos los demás sentidos, salvo en el hecho de que no

puede leer. A ningún genetista le sorprendería particularmente que este tipo de dislexia llegara a reproducirse más o menos según las leyes de Mendel. Evidentemente, en tal caso el gen mostraría solo sus efectos en un entorno que incluyera la educación normal. En un entorno prehistórico no habría podido tener ningún efecto detectable, o quizá habría tenido algún efecto diferente y habría sido conocido por los genetistas de la época de las cavernas como, por ejemplo, el gen de la incapacidad de leer las huellas de los animales [...]

De las convenciones habituales de la terminología genética se desprende que el gen de tipo salvaje que ocupa ese mismo lugar, el gen que el resto de la población tiene por partida doble, debería llamarse propiamente gen «de la lectura». Si alguien pone alguna objeción, debería poner también objeciones al hecho de que hablemos de un gen de la estatura en los guisantes de Mendel [...] En ambos casos el carácter que interesa es una *diferencia*, y en ambos casos la diferencia solo se pone de manifiesto en un entorno específico. El motivo de que algo tan sencillo como la diferencia en un solo gen pueda tener un efecto tan complejo [...] es básicamente el siguiente. Por complejo que pueda ser un determinado estado del mundo, la *diferencia* entre ese estado y otro estado alternativo del mundo puede ser causada por algo sumamente sencillo.^[10.46]

¿Puede haber un gen del altruismo? Sí, dice Dawkins, si ello significa «cualquier gen que ejerza influencia sobre el desarrollo de los sistemas nerviosos de tal modo que estos tiendan a comportarse de manera altruista».^[10.47] Esos genes —esos replicadores, esos supervivientes— no saben nada de altruismo y no saben nada de la lectura, desde luego. Sean lo que sean y estén donde estén, sus efectos fenotípicos interesan solo en la medida en que ayudan a los genes a multiplicarse.

La biología molecular, en su logro más señero, ha identificado el gen en un fragmento de ADN que codifica una proteína. Esa era la definición en términos de hardware. La definición en términos de software era más antigua y más confusa: la unidad de herencia; el portador de la diferencia fenotípica. Ante la difícil coexistencia de esas dos definiciones, las miras de Dawkins iban más allá.

Si se supone que los genes son maestros de la supervivencia, difícilmente podrán ser fragmentos de ácido nucleico. Esos fragmentos son efímeros. Decir que un replicador es capaz de sobrevivir durante eones es definir el replicador como *todas las copias vistas como una sola*. Así pues, el gen no «se vuelve senil», decía Dawkins.

No es más probable que muera cuando tiene un millón de años que cuando solo tiene cien. Salta de un cuerpo a otro de generación en generación, manipulando un cuerpo tras otro a su manera y según sus propios fines, y abandonando una sucesión de cuerpos mortales antes de que se hundan en la senilidad y en la muerte.^[10.48]

«Lo que estoy haciendo —decía—, es recalcar la casi inmortalidad potencial del gen, en forma de copias, como la propiedad que lo define». Ahí es donde la vida se libera de sus amarras materiales. (A menos que se creyera ya en el alma inmortal). El gen no es una macromolécula portadora de información. El gen es la información. El físico Max Delbrück escribía en 1949: «Hoy día existe la tendencia a decir que “los genes no son más que moléculas o partículas hereditarias”, y de ese modo se eliminan las abstracciones».^[10.49] Ahora volvían las abstracciones.

Así pues, ¿dónde se encuentra un determinado gen, digamos, por ejemplo, el gen de las piernas largas en los humanos? Es un poco como preguntar dónde está la *Sonata para piano en mi menor* de Beethoven. ¿Está en el manuscrito de la partitura original? ¿En la partitura impresa? ¿En cualquier ejecución en concreto? ¿O tal vez en la suma de todas las ejecuciones, históricas y potenciales, reales e imaginarias?

Las negras y las corcheas impresas en el papel no son la música. La música no es una serie de ondas de presión que suenan en el aire; ni unos surcos grabados en vinilo ni los salientes quemados del CD; ni siquiera las sinfonías neuronales estimuladas en el cerebro del oyente. La música es la información. Del mismo modo, las parejas de bases del ADN no son genes. Codifican genes. Los genes propiamente dichos están hechos de bits.

EN EL ACERVO DE MEMES

(Tú parasitas en mi cerebro)

Cuando reflexiono sobre los memes, a menudo me veo describiendo un patrón efímero y variable de partículas chispeantes que saltan de un cerebro a otro cerebro, gritando «¡Yo, yo!». ^[11.1]

DOUGLAS HOFSTADTER (1983)

«A hora, a través de la mismísima universalidad de sus estructuras, empezando por el código, la biosfera parece el resultado de un único suceso», escribía Jacques Monod en 1970. «El universo no rebosaba vida, ni la biosfera estaba llena de hombres. Nuestro número salió por una cuestión de azar. ¿Debemos maravillarnos de que, como un individuo que acaba de ganar un millón jugando en el casino, nos sintamos un poco extraños y un poco fuera de la realidad?» ^[11.2]

Monod, el biólogo parisino que había compartido el Premio Nobel por haber desarrollado el papel de mensajero desempeñado por el ARN en la transmisión de información genética, no era el único que consideraba que la biosfera era algo más que un simple lugar hipotético: una entidad, compuesta de todas las formas de vida de la tierra, simples y complejas, rebosante de información, que se replica y evoluciona y que codifica de un nivel de abstracción al siguiente. Esta visión de la vida era más abstracta —más matemática— de lo que Darwin había imaginado, aunque habría reconocido sus principios básicos. La selección natural dirige toda la obra. En aquellos momentos los biólogos, tras haber absorbido los métodos y el vocabulario de las ciencias de la comunicación, fueron más allá para realizar sus propias aportaciones con la finalidad de hacer

más comprensible la mismísima información. Monod proponía una analogía: del mismo modo que la biosfera se sitúa por encima del mundo de la materia no viva, «un reino abstracto» se eleva por encima de la biosfera. ¿Y quién habita este reino? Las ideas.

Las ideas han conservado algunas de las propiedades de los organismos. Como estos, tienden a perpetuar su estructura y a procrear; también pueden fundir, recombinar y segregar su contenido; de hecho, también pueden evolucionar, y en esta evolución, la selección debe desempeñar sin duda un papel importante.^[11.3]

Las ideas tienen «capacidad de propagarse», observaba —«de infectar»—, y unas más que otras. Un ejemplo de idea infecciosa podría ser una ideología religiosa que ejerce cada vez más influencia en un numeroso grupo de individuos. El norteamericano Robert Sperry, especialista en neurofisiología, había avanzado un concepto similar varios años antes, sosteniendo que las ideas son «tan reales» como las neuronas que habitan. Las ideas tienen poder, decía.

Las ideas generan ideas y contribuyen al desarrollo de nuevas ideas. Interactúan unas con otras y con otras fuerzas mentales en el mismo cerebro, en cerebros vecinos y, gracias a la comunicación global, en cerebros extranjeros muy lejanos. Y también interactúan con los ambientes externos para producir en conjunto un avance repentino e inteligente de la evolución que va mucho más allá de cualquier hecho que hoy por hoy pueda repercutir directamente en el escenario evolutivo [...]

Monod añadió: «No voy a aventurar una teoría de la selección de ideas».^[11.4] No hacía falta. Otros estaban muy dispuestos a hacerlo.

Richard Dawkins estableció su propia conexión entre la evolución de los genes y la evolución de las ideas. Su agente principal era el replicador, y apenas importaba que los replicadores estuvieran hechos de ácido nucleico o no. Su teoría establece que «toda forma de vida evoluciona por la supervivencia diferencial de los entes replicadores». Donde haya vida, tiene que haber replicadores. Tal vez en otros mundos los replicadores pudieran surgir en un sistema bioquímico alternativo de átomos de silicio, o en ningún sistema

químico en absoluto.

¿Qué supondría para un replicador existir sin química?: «Creo que un nuevo tipo de replicador ha surgido recientemente en este planeta», declaraba al final de su primer libro, en 1976. «Nos mira a la cara. Se encuentra todavía en su infancia, flotando aún torpemente en su caldo primigenio, aunque ya esté alcanzando un cambio evolutivo a una velocidad que deja al antiguo gen jadeando atrás.»^[11.5] Este «caldo» [o sopa] es la cultura de la humanidad; el vector de transmisión es el lenguaje; y el lugar de desove es el cerebro.

Para este replicador incorpóreo, Dawkins propuso un nombre. Lo llamó *meme*, y se convirtió en su invención más memorable, mucho más influyente que sus genes egoístas o su posterior proselitismo contra la religiosidad. «Los memes se propagan en el acervo de memes al saltar de un cerebro a otro mediante un proceso que, considerado en su sentido más amplio, puede llamarse de imitación», decía. Compiten unos con otros por unos recursos limitados: el tiempo del cerebro o el ancho de banda. Compiten principalmente por dominar la *atención*. Por ejemplo:

Ideas. Tanto si surge excepcionalmente como si reaparece en numerosas ocasiones, una idea puede prosperar en el acervo de memes o puede perder interés y desaparecer. Dawkins pone como ejemplo la creencia en Dios, una idea muy antigua que se replica no solo con la palabra escrita o hablada, sino también con la música y el arte. La creencia de que la tierra gira alrededor del sol es, nada más y nada menos, un meme que compite con otros para sobrevivir. (La verdad puede ser una cualidad ventajosa para un meme, pero es solo una entre otras muchas).

Melodías. La siguiente melodía



ha ido difundiéndose a lo largo de los siglos por varios continentes. Esta otra:



una conocida invasora de cerebros, pero con una vida más corta, penetró en la cabeza de un número elevadísimo de individuos en un espacio muchísimo más breve de tiempo.

Eslóganes. El fragmento de un texto, «Lo que Dios ha creado», apareció primero y se difundió rápidamente en más de un medio. Otro, «Lee mis labios», trazaba un camino peculiar por la América de finales del siglo XX. «La supervivencia de los más aptos» es un meme que, como otros memes, cambia bruscamente («la supervivencia de los más gruesos»; «la supervivencia de los más enfermizos»; «la supervivencia de los más falsos»; «la supervivencia de los más estúpidos» ...).

Imágenes. En tiempos de Isaac Newton, apenas unos pocos miles de personas sabían qué aspecto tenía este científico, aunque fuera uno de los hombres más famosos de Inglaterra, pero en la actualidad millones de individuos tienen una idea bastante clara de cuál era su apariencia (gracias a las réplicas de copias de unos retratos pintados más bien pobremente). Aún más arraigadas e indelebles en nuestras mentes están la sonrisa de *Mona Lisa*, la imagen de *El grito* de Edvard Munch y las siluetas de diversos seres extraterrestres de ficción. Son memes, que viven su propia vida, independientes de cualquier realidad física. «Probablemente no se corresponda con el aspecto que tenía realmente George Washington por aquel entonces», se oyó decir a un guía turístico ante el cuadro de Gilbert Stuart que se encuentra en una de las salas del Metropolitan Museum of Art, «pero este es el aspecto real que tiene en la actualidad».^[11.6] Y tenía razón.

Los memes aparecen en los cerebros y viajan al exterior, estableciendo cabezas de puente en el papel, en el celuloide, en el silicio y en cualquier otro lugar al que pueda dirigirse la información. No deben ser considerados partículas elementales, sino organismos. El número tres no es un meme; tampoco lo es el color azul, ni cualquier pensamiento simple, del mismo modo que un único

nucleótido no puede ser un gen. Los memes son unidades complejas, distintas y significativas, son unidades con capacidad de resistencia. Asimismo, un objeto no es un meme. El hula hoop no es un meme; está hecho de plástico, no de bits. Cuando en 1958 este tipo de juguete se difundió velozmente por todo el mundo como una epidemia, lo que se propagó era el producto, la manifestación física de un meme, o unos memes: el ansia de poseer un hula hoop; la destreza necesaria para hacer girar, balancear y lanzar el hula hoop. El hula hoop en sí mismo es un vehículo del meme. Y por esta razón también lo es cada uno de los individuos que juegan con él: un vehículo del meme sorprendentemente eficaz, en el sentido que claramente explica el filósofo Daniel Dennett: «Un carro con ruedas radiadas no solo lleva grano u otros productos de un lugar a otro; lleva la brillante idea de un carro con ruedas radiadas de una mente a otra».^[11.7] Esto fue lo que hicieron los aficionados al hula hoop por los memes del hula hoop; y en 1958 se encontró un nuevo vector de transmisión, la televisión, que hacía llegar sus mensajes con muchísima más rapidez que cualquier carro, y a lugares muy alejados unos de otros. La imagen en movimiento de un individuo jugando con el hula hoop sedujo a centenares de nuevas mentes, luego a millares y más tarde a millones. El meme no es el bailarín, sino el baile.

Somos sus vehículos y los que los hacen posibles. Existieron de manera efímera durante casi toda nuestra historia biológica; su principal sistema de transmisión era el llamado «boca a boca». Más tarde, sin embargo, han conseguido adherirse a sustancias sólidas: tablillas de arcilla, paredes de cuevas, hojas de papel. Consiguen ser longevos gracias a nuestros lápices y plumas y nuestras imprentas, a nuestras cintas magnéticas y a nuestros discos ópticos. Se difunden con la ayuda de las torres de radiodifusión y la electrónica digital. Los memes pueden ser relatos, recetas, aptitudes o habilidades, leyendas y sistemas. Los copia una persona a la vez. Alternativamente, desde la perspectiva de Dawkins que gira alrededor de los memes, ellos también se copian. Al principio, algunos lectores de Dawkins se preguntaban hasta qué punto había que tomarse esa afirmación literalmente. ¿Quería decir que había que dar a los memes deseos, intenciones y objetivos antropomórficos? Se trataba de nuevo del gen egoísta. (Una reserva típica: «Los genes no pueden ser egoístas o no egoístas, del mismo modo que los átomos no pueden ser celosos, los elefantes abstractos o las galletas teológicas».^[11.8] Una refutación típica: recordemos que el «egoísmo» lo

definen los genetistas como la tendencia a aumentar las posibilidades de supervivencia de un individuo respecto a sus competidores).

Con su forma de expresarse, Dawkins no pretendía sugerir que los memes son actores conscientes, solo que son entes con intereses que pueden ampliarse por selección natural. Sus intereses no son nuestros intereses. «Un meme», dice Dennett, «es un paquete de información con carácter».^[11.9] Cuando hablamos de *luchar por un principio* o de *morir por una idea*, probablemente seamos más literales de lo que imaginamos. «Morir por una idea; es indudablemente algo muy noble», escribía H. L. Mencken. «¡Pero cuán más noble sería que los hombres murieran por ideas que fueran verdad!»^[11.10]

Alfarero, costurero, caballero, marinero... La rima y el ritmo ayudan a las personas a recordar fragmentos de un texto. O también podríamos decir que la rima y el ritmo ayudan a los fragmentos de un texto a ser recordados. Rima y ritmo son cualidades que ayudan a un meme a sobrevivir, del mismo modo que la resistencia y la velocidad ayudan a un animal a sobrevivir. El lenguaje ordenado tiene una ventaja evolutiva. Rima, ritmo y razón, pues la razón también es una forma de orden. *Una vez se me prometió que tendría una razón para mi rima; desde entonces hasta hoy, no he recibido ni razón ni rima.*^[11.11]

Como los genes, los memes tienen, más allá de su propia condición, una serie de efectos en el mundo en general; son efectos fenotípicos. En algunos casos (el meme para hacer fuego, para vestir la ropa, para la resurrección de Jesús), dichos efectos pueden ser realmente fuertes. Cuando transmiten su influencia en el mundo, los memes ejercen una influencia en las condiciones que afectan a sus propias probabilidades de supervivencia. El meme o los memes que compusieron el código Morse tuvieron fuertes efectos de retroalimentación positiva. «Creo que, en las condiciones adecuadas, los replicadores se unen automáticamente para crear sistemas, o máquinas, que los dispersan y actúan para favorecer su continua replicación», escribía Dawkins.^[11.12] Algunos memes tienen efectos claramente benéficos para sus anfitriones humanos («mira antes de saltar», conocimientos de RCP, creer en la conveniencia de lavarse las manos antes de empezar a cocinar), pero éxito memético y éxito genético no son la misma cosa. Los memes pueden replicarse con una virulencia asombrosa, dejando un rastro de daños colaterales (productos medicinales de dudosa efectividad y cirugía psíquica, astrología y satanismo, mitos racistas,

supersticiones y —lo que constituye un caso especial— virus informáticos). En cierto modo, estos son los más interesantes, los memes que se expanden y prosperan en detrimento de sus anfitriones, como, por ejemplo, la idea de que los kamikazes encontrarán su recompensa en el cielo.

Cuando Dawkins lanzó por primera vez el concepto de meme del *meme*, Nicholas Humphrey, especialista en psicología evolucionista, dijo inmediatamente que estos entes debían ser considerados «estructuras vivas no solo metafóricamente, sino también técnicamente»:

Cuando alguien planta un meme fértil en mi mente, introduce literalmente un parásito en mi cerebro, convirtiéndolo en un vehículo para la propagación del meme, del mismo modo que un virus puede ser un parásito en el mecanismo genético de una célula-huésped. Y no se trata simplemente de una manera de hablar: por ejemplo, el meme para «creer en la vida después de la muerte» se realiza en verdad físicamente, millones y millones de veces, como una estructura en el sistema nervioso de los hombres de todo el mundo.^[11.13]

La mayoría de los primeros lectores de *El gen egoísta* consideraron los memes una ocurrencia imaginativa, pero el etólogo W. D. Hamilton, en un artículo sobre el libro para la revista *Science*, se aventuró a hacer la siguiente predicción:

Por difícil que sea delimitar este término —sin duda mucho más que gen, que ya cuesta lo suyo—, sospecho que pronto será de uso corriente entre los biólogos y, espero, entre los filósofos, los lingüistas y también entre otros, y que, como gen, es probable que no tarde en formar parte de nuestro lenguaje cotidiano.^[11.14]

Los memes podían viajar silenciosamente incluso antes de que naciera el lenguaje. La simple mímica basta para replicar conocimientos (cómo tallar una punta de flecha o hacer fuego). Entre los animales, los chimpancés y los gorilas destacan por su tendencia a imitar. Algunas especies de pájaros cantores aprenden sus cantos, o al menos ciertas variaciones de canto, oyéndolos de otras aves vecinas (o, más recientemente, de los ornitólogos con reproductores de audio). Los pájaros desarrollan repertorios de cantos y dialectos de cantos, en

pocas palabras, muestran una *cultura* de pájaro cantor que surgió varios eones antes que la cultura humana.^[11.15] A pesar de estos casos especiales, durante buena parte de la historia de la humanidad los memes y el lenguaje han estado estrechamente relacionados. (Los tópicos o clichés son memes). El lenguaje sirve de primer catalizador de una cultura. Sustituye la simple imitación, difundiendo el conocimiento mediante la abstracción y la codificación.

Probablemente la analogía con la enfermedad fuera inevitable. Antes de que nadie tuviera conocimiento alguno de epidemiología, el lenguaje de dicha especialidad se aplicaba a ciertos tipos de información. Una emoción y una costumbre pueden ser *contagiosas*, y una melodía *pegadiza*. «En los semblantes el pavor se pinta, contagiándose entre la multitud», escribió el poeta James Thomson en 1730.^[11.16] Del mismo modo, Milton ofrecía una imagen del deseo, de la lujuria en los siguientes términos: «Eva, cuyos ojos despedían el contagioso fuego que la devoraba».^[11.17] Pero ha sido solo en el nuevo milenio, en la era de la transmisión global electrónica, cuando la identificación se ha convertido en algo habitual. Los nuestros son tiempos virales: educación viral, marketing viral, correos electrónicos, vídeos y redes virales. Los investigadores que estudian el mundo de Internet como medio —*crowdsourcing* (subcontratación voluntaria), atención colectiva, redes sociales y asignación de recursos— utilizan no solo el lenguaje, sino también los principios matemáticos de la epidemiología.

Por lo visto, uno de los primeros que empleó los términos *texto viral* y *frases virales* fue un lector de Dawkins llamado Stephen Walton, de la ciudad de Nueva York, en la correspondencia que mantuvo con Douglas Hofstadter en 1981. Desde su pensamiento lógico —tal vez a modo de ordenador—, Walton proponía una serie de sencillas frases autorreplicadoras siguiendo la línea de «¡Dime!», «¡Cópíame!» y «¡Si me copias, te concederé tres deseos!».^[11.18] A Hofstadter, por aquel entonces columnista de la revista *Scientific American*, le pareció que el término *texto viral* propiamente dicho resultaba todavía más pegadizo.

Bien, ahora, el propio texto viral de Walton, como pueden ver aquí ante ustedes, ha logrado apropiarse de las instalaciones de un anfitrión sumamente poderoso: de toda una revista, con su imprenta y su servicio de distribución. ¡Ha saltado a bordo y actualmente —incluso en el preciso momento en que usted lee

esta frase viral— está propagándose alocadamente por toda la ideosfera!

(A comienzos de los años ochenta del siglo pasado, una revista con una tirada de setecientos mil ejemplares seguía pareciendo una poderosa plataforma de comunicación). Hofstadter se declaraba alegremente infectado por el meme del *meme*.

Una fuente de resistencia —o al menos de incomodidad— era el impulso que tenemos nosotros, los humanos, de ir a los extremos. Ya estaba bastante mal decir que una persona es simplemente la forma que tiene un gen de crear más genes. Ahora los humanos también deben ser considerados vehículos para la propagación de memes. A nadie le gusta que se le llame marioneta. Dennett describía el problema en los siguientes términos: «No sé nada de ti, pero en principio no me siento atraído por la idea de que mi cerebro es como un montón de estiércol en el que se renuevan las larvas de las ideas de otros individuos, antes de enviar copias de ellas mismas en una especie de diáspora de la información [...] ¿Quién manda, según esta visión, nosotros o nuestros memes?». ^[11.19]

Respondía a su propia pregunta recordándonos que, nos guste o no, raras veces «mandamos» en nuestra mente. Habría podido citar a Freud, pero citaba a Mozart (o eso es lo que pensaba):

En mis noches de insomnio, los pensamientos me asaltan [...]
¿De dónde vienen? ¿Cómo vienen? No lo sé, y no tengo nada que ver en todo ello. Los que son de mi agrado, los guardo en mi mente y me los voy repitiendo.

Más tarde Donnet fue informado de que esta célebre cita no era al final de Mozart. Había cobrado vida propia; era un meme que había tenido verdaderamente éxito.

Para cualquiera que se sintiera realmente atraído por la idea de los memes, el paisaje estaba cambiando con mucha más rapidez que la que habría podido imaginar Dawkins en 1976, cuando escribió que «las computadoras en las que viven los memes son cerebros humanos». ^[11.20] En 1989, el año de la segunda edición de *El gen egoísta*, tras haberse convertido en un experto programador, él mismo haría la siguiente rectificación: «Obviamente, era predecible que, al final, también los ordenadores electrónicos iban a desempeñar el papel de huésped

para los modelos autorreplicadores de información».^[11.21] La información pasaba de un informador a otro «cuando sus propietarios se intercambian diskettes», y podía vislumbrar otro fenómeno en el horizonte: ordenadores conectados a redes. «Muchos de ellos», decía, «están literalmente conectados para el intercambio de correo electrónico [...] Es un medio perfecto para la aparición y difusión de programas autorreplicadores». En efecto, eran los albores de Internet. Internet no solo suponía para los memes un medio cultural rico en nutrientes; también daba alas a la *idea* de los memes. El meme propiamente dicho no tardó en convertirse en una palabra habitual en el mundo de Internet. La conciencia de la existencia de memes aceleró su expansión.

Un ejemplo notorio de meme que no pudo haber aparecido en la cultura anterior a Internet es la frase *jumped the shark* («saltó por encima del tiburón»). Una serie de autorreferencias entrelazadas caracterizó cada una de las fases de su existencia. «Saltar por encima del tiburón» significa en inglés llegar a un clímax de calidad o popularidad, y empezar un declive irreversible. Se pensaba que esta expresión había sido utilizada por primera vez en 1985 por un estudiante universitario llamado Sean J. Connolly, en referencia a una serie de televisión. El origen de la frase requiere cierta explicación, sin la cual no habría podido ser entendida en principio. Tal vez por esa razón, no hay constancia escrita de su utilización hasta 1997, cuando el compañero de dormitorio de Connolly en el colegio universitario, Jon Hein, registró el dominio *jumptheshark.com* y creó un sitio web dedicado a su difusión. Dicho sitio web no tardó en presentar una lista de preguntas frecuentes:

Pregunta: ¿La expresión *jump the shark* tiene su origen en este sitio web, o se ha creado este sitio web para capitalizar dicha expresión?

Respuesta: Este sitio se creó el 24 de diciembre de 1997 y dio lugar a la expresión *jump the shark*. Como es cada vez más popular, la frase está convirtiéndose en una expresión corriente. El sitio web es el pollo, el huevo, y ahora un razonamiento circular.

Al año siguiente se difundió por medios de comunicación más tradicionales; en 2001 Maureen Dowd dedicó una columna para explicar su significado en *The New York Times*; en 2003, el columnista de *On Language* («Sobre el lenguaje») de este mismo periódico, William Safire, la definió como «la expresión del año

de la cultura popular»; poco después, la gente la utilizaba en el lenguaje oral y escrito con absoluta normalidad —sin comillas ni explicaciones de su significado—, y al final, de manera inevitable, varios observadores culturales llegaron a plantear la siguiente cuestión: «¿“Saltar por encima del tiburón” ha saltado por encima del tiburón?». («Ni que decir tiene que “saltar por encima del tiburón” es un brillante concepto cultural [...] Pero ahora la condenada expresión aparece por todas partes»). Como cualquier buen meme, produjo mutaciones. El artículo *Jumping the shark* de Wikipedia en lengua inglesa hacía la siguiente recomendación en 2009: *See also: jumping the couch; nuking the fridge* (Véanse también: «saltar sobre el sofá» y «atacar el frigorífico con armas nucleares»).

¿Es esto ciencia? En su columna de 1983, Hofstadter propuso la lógica etiqueta mimética para este tipo de disciplina: memética. El estudio de los memes ha atraído a investigadores de campos tan diversos como las ciencias de la computación y la microbiología. En bioinformática, las cadenas de mensajes son objeto de estudio. Son memes; tienen historias evolutivas. El objetivo de una cadena de mensajes es la replicación; independientemente de su contenido, de lo que diga o exponga, su mensaje es: *Cópíame*. Un estudiante de evolución de las cadenas de mensajes, Daniel W. VanArsdale, elaboró una lista de múltiples variantes de cadenas de mensajes e incluso de textos de otras épocas anteriores: «Haz siete copias de esto exactamente como está escrito» [1902]; «Copia esto íntegramente y envíalo a nueve amigos» [1923]; «Y si alguno quita de las palabras del libro de esta profecía, quitará Dios su parte del árbol de la vida» [Apocalipsis 22:19].^[11.22] Las cadenas de mensajes se expandieron con la ayuda de una nueva tecnología del siglo XIX: el «papel carbón», colocado entre dos hojas de papel en blanco. Más tarde el papel carbón estableció una relación simbiótica con otra tecnología, la máquina de escribir. Durante las primeras décadas del siglo XX se produjeron diversos brotes virales de cadenas de mensajes.

«A finales de 1933 Quincy fue el receptor de una cadena de mensajes particularmente insólita», escribía un historiador de Illinois. «Con tanta rapidez la moda de las cadenas de mensajes desarrolló síntomas de histeria colectiva y se expandió por todos los Estados Unidos, que en 1935-1936 el Departamento Estatal de Correos, así como diversas agencias de opinión pública, tuvieron que

intervenir para acabar con este movimiento.»^[11.23] Ofrecía un ejemplo, un meme que motivaba a sus portadores humanos con promesas y amenazas:

Creemos en Dios. Él provee a nuestras necesidades.

Mrs. F. Streuzel Mich.

Mrs. A. Ford Chicago, Ill.

Mrs. K. Adkins Chicago, Ill. etcétera.

Copia los nombres que aparecen arriba, omitiendo el primero. Incluye al final tu nombre. Envía esto por correo a cinco personas a las que desees prosperidad. Esta cadena la comenzó un coronel de los Estados Unidos, y debe ser enviada después de veinticuatro horas de haberla recibido. La prosperidad te llegará al cabo de nueve días de haberla enviado.

Mrs. Sanford ganó 3.000 dólares. Mrs. Andrews ganó mil dólares.

Mrs. Howe rompió la cadena y perdió todo lo que poseía.

La cadena ejerce un claro poder que trasciende la palabra.

NO ROMPAS ESTA CADENA.

Cuando se difundió su utilización, otras dos tecnologías posteriores supusieron un aumento de los órdenes de magnitud en la fecundidad de las cadenas de mensajes: la máquina fotocopidora (*ca.* 1950) y el correo electrónico (*ca.* 1995). Un equipo de especialistas en ciencias de la información —Charles H. Bennett, de IBM en Nueva York, y Ming Li y Bin Ma, de Ontario, Canadá—, inspirado por una conversación casual durante una larga excursión por las montañas de Hong Kong, comenzó el análisis de una serie de cadenas de mensajes reunidas durante la época de la fotocopidora. Tenían un total de treinta y tres, todas ellas variantes de una misma carta, con mutaciones en forma de faltas de ortografía, omisiones y palabras y frases colocadas en un orden distinto. «Estas cartas han ido pasando de un huésped a otro, mutándose y evolucionando», decían en su informe.^[11.24]

Como un gen, tienen una longitud media de aproximadamente dos mil caracteres. Como un potente virus, la carta amenaza con matarte y te induce a pasarla a tus «amigos y compañeros» (alguna variación de esta carta

probablemente haya llegado a millones de personas). Como un rasgo que puede ser transmitido, promete beneficios para ti y para aquellos a los que la pasas. Como genomas, las cadenas de mensajes experimentan una selección natural, y a veces partes de ellas incluso se pasan entre «especies» coexistentes.

Más allá de estas curiosas metáforas, estos científicos se dispusieron a utilizar las cartas como un «banco de pruebas» para los algoritmos empleados en biología evolutiva. Los algoritmos estaban concebidos para estudiar, por inferencia y deducción, el proceso de desarrollo de los genomas de diversas criaturas modernas, con el fin de reconstruir su filogenia, sus árboles evolutivos. Si estos métodos matemáticos funcionaban con los genes, indicaban los científicos, también debían funcionar con las cadenas de mensajes. En ambos casos, los investigadores fueron capaces de verificar los índices de mutación y las medidas relacionadas.

Sin embargo, casi todos los elementos de una cultura cambian y con mucha facilidad se vuelven imprecisos para poder calificarlos de replicadores estables. Raramente pueden definirse con claridad como una secuencia de ADN. El propio Dawkins hacía hincapié en que nunca había imaginado poder encontrar algo parecido a una nueva ciencia de la memética. *Journal of Memetics*, una revista con detractores y partidarios entre los especialistas en la materia, apareció en 1997 —publicada, por supuesto, online—, para luego desaparecer al cabo de ocho años dedicados en parte a un controvertido debate sobre su condición, sus objetivos y su terminología. Incluso en comparación con los genes, los memes son difíciles de matematizar y hasta de definir con rigor. Por lo que la analogía gen-meme resulta inconveniente, y más aún la analogía genética-memética.

Los genes tienen, al menos, una base de sustancia física. Los memes son abstractos, intangibles e inmedibles. Los genes se replican con una fidelidad casi perfecta, y la evolución depende de este factor: es esencial que se produzca alguna variación, pero deben ser aislados los casos de mutación. Raras veces los memes se copian exactamente; sus límites son siempre difusos, y mutan con una flexibilidad tan disparatada que resultaría fatal en el campo de la biología. El término meme podía aplicarse a un sospechoso y elevadísimo número de entes, pequeños y grandes. Para Dennett, las primeras cuatro notas de la *Quinta Sinfonía* de Beethoven constituían «claramente» un meme, al igual que la *Odisea* de Homero (o al menos la *idea* de la *Odisea*), la rueda, el antisemitismo y la

escritura.^[11.25] «Los memes todavía no han encontrado a su Watson y Crick», decía Dawkins; «ni siquiera a su Mendel».^[11.26]

Pero aquí están. Cuanto más apunta la curva del flujo de información hacia una mayor conectividad, más rápido evolucionan los memes y más se expanden. Su presencia se percibe, por no decir se ve, en el comportamiento gregario, los pánicos bancarios o financieros, la llamada «cascada informacional» y las burbujas financieras. Las dietas ganan y pierden popularidad, y sus nombres intentan convertirse en verdaderos eslóganes para atraer al consumidor: la Dieta South Beach y la Dieta Atkins, la Dieta Scarsdale, la Dieta de la Galleta y la Dieta del Bebedor, todas ellas replicándose según una dinámica sobre la que la ciencia nutricionista no tiene nada que decir. También la práctica de la medicina es víctima de «modas quirúrgicas» y de «iatroepidemias» —epidemias provocadas por modas terapéuticas—, como, por ejemplo, la iatroepidemia de la amigdalectomía infantil que se extendió por los Estados Unidos y partes de Europa a mediados del siglo XX, la cual desde el punto de vista médico no reportaba más beneficios que los de una simple circuncisión ritual. Pudieron verse memes en las ventanillas de un automóvil cuando comenzaron a aparecer los carteles romboidales amarillos que decían *BABY ON BOARD* («BEBÉ A BORDO») como si en 1984, de repente, hubiera estallado el pánico en los Estados Unidos y luego en Europa y Japón, y que inmediatamente después provocaron la aparición de una serie de mutaciones sumamente irónicas, como, por ejemplo, *BABY I'M BOARD, EX IN TRUNK* [jugando con la palabra *board*, que en inglés se pronuncia como *bored*, que significa «aburrido», por lo que podría traducirse como, «Cariño, estoy aburrido, llevo a mi ex en el maletero»]. Se percibieron memes cuando el discurso global estuvo dominado durante el último año del milenio por la creencia de que los ordenadores de todo el mundo iban a atascarse o a empezar a funcionar mal cuando sus relojes internos tuvieran que marcar a un número redondo especial.

En la competición por un espacio en nuestros cerebros y en la cultura, los combatientes efectivos son los mensajes. Las nuevas visiones divergentes y convergentes de los genes y los memes nos han enriquecido. Nos proporcionan paradojas para escribir acerca de las bandas de Möbius. «El mundo humano está hecho de relatos, no de personas», dice David Mitchell. «No hay que echar la culpa a las personas sobre las que suelen hablar los relatos.»^[11.27] Margaret

Atwood dice: «Ocurría lo mismo con cualquier tipo de conocimiento, cuando ya sabías algo, no podías imaginar cómo no habías tenido conocimiento de ello antes. Al igual que un espectáculo de magia, antes de tener conocimiento de algo, ese algo se manifestaba ante tus propios ojos, pero tú estabas mirando en otra dirección».^[11.28] Poco antes de morir, John Updike reflexiona sobre

una vida expresada en palabras, desperdicio aparente
concebido para preservar lo consumido.^[11.29]

Fred Dretske, especialista en filosofía de la mente y del conocimiento, escribía en 1981: «En el principio era la información. La palabra apareció más tarde».^[11.30] Y añadía la siguiente explicación: «La transición se alcanzó mediante el desarrollo de organismos con capacidad de explotar selectivamente esta información para poder sobrevivir y perpetuar su especie». Ahora podemos añadir, gracias a Dawkins, que la transición se alcanzó mediante la propia información, en su esfuerzo por sobrevivir y perpetuar su especie explotando selectivamente organismos.

La mayor parte de la biosfera no puede ver la infosfera; la infosfera es invisible, es un universo paralelo lleno de habitantes espectrales. Pero para nosotros no son espectros, ya no lo son. Nosotros, los humanos, somos las únicas criaturas orgánicas que viven en los dos mundos a la vez. Es como si, después de haber coexistido durante largo tiempo con lo invisible, hubiéramos empezado a desarrollar la percepción extrasensorial necesaria. Somos conscientes de las numerosas especies de información que hay. Las llamamos sarcásticamente tipos, como para asegurarnos de que comprendemos: *mitos urbanos* y *mentiras zombies*. Las mantenemos vivas en una torre de servidores provista de aire acondicionado. Pero no podemos poseerlas. Cuando una musiquilla resuena en nuestro oído, cuando una moda causa furor y altera nuestras costumbres o cuando una idea falsa predomina en las conversaciones globales durante meses y desaparece con la misma rapidez con la que ha surgido, ¿quién es el amo y quién el esclavo?

EL SENTIDO DE ALEATORIEDAD

(*En un estado de pecado*)

«¡Qué extraño!», decía. «Cada vez resulta más difícil ver el patrón. ¿No crees?»^[12.1]

MICHAEL CUNNINGHAM (2005)

En 1958, Gregory Chaitin, un niño precoz de Nueva York de apenas once años, hijo de emigrantes argentinos, encontró un librito mágico en la biblioteca y lo llevó consigo a todas partes por algún tiempo intentando explicárselo a otros niños, y luego, como admitiría más tarde, intentando comprenderlo él mismo.^[12.2] Era *La prueba de Gödel* de Ernest Nagel y James R. Newman. Se trataba de una ampliación de un artículo aparecido en *Scientific American*, y hacía una reseña del renacimiento de la lógica que había comenzado con George Boole; del proceso de «mapeo», de codificación de afirmaciones sobre las matemáticas en forma de símbolos e incluso números enteros; y de la idea de metamatemática, el lenguaje sistematizado *en torno a* las matemáticas y por consiguiente *más allá de* las matemáticas. Se trataba de una materia embriagadora para el muchacho, que siguió atentamente la exposición simplificada, pero rigurosa, que hacían los autores de la «asombrosa y melancólica» demostración de Gödel,^[12.3] según el cual las matemáticas formales no podrían verse nunca libres de contradicción.

La mayor parte de la matemática que se practicaba en la época no se preocupaba en absoluto por la prueba de Gödel. Por alarmante que fuera la

incompletitud, desde luego, daba la sensación de ser en cierto modo incidental, pues no contribuía en nada al trabajo práctico de los matemáticos, que seguían haciendo descubrimientos y demostrando teoremas. Pero las mentalidades filosóficas seguían profundamente preocupadas por ella, y ese era el tipo de autores que a Chaitin le gustaba leer. Uno de ellos era John von Neumann, que ya la había apoyado al principio, en Königsberg, en 1930 y que luego en los Estados Unidos había asumido el protagonismo del desarrollo de la computación y de la teoría de la computación. Para Von Neumann, la prueba de Gödel suponía un punto de no retorno:

Era una crisis conceptual muy seria, que trataba del rigor y la manera adecuada de llevar a cabo una prueba matemática correcta. En vista de los conceptos anteriores del absoluto rigor de las matemáticas, resulta sorprendente que pudiera haber sucedido algo así, e incluso más sorprendente todavía que hubiera podido suceder en estos últimos tiempos, en los que se supone que no se producen milagros. Pero había sucedido.^[12.4]

¿Por qué? Preguntaba Chaitin. Se preguntaba si la incompletitud de Gödel podía relacionarse a algún nivel con el nuevo principio de la física cuántica, el principio de incertidumbre, que olía más o menos a lo mismo.^[12.5] Luego, ya adulto, Chaitin tuvo ocasión de plantear esta pregunta al gran oráculo, John Archibald Wheeler. ¿Estaba la incompletitud relacionada con la incertidumbre de Heisenberg? Wheeler contestó diciendo que una vez había planteado esa misma pregunta al propio Gödel, en su despacho del Instituto de Estudios Avanzados. Gödel estaba con las piernas cruzadas debajo de una manta, mientras que una estufa eléctrica irradiaba calor en medio de los vendavales del invierno. Gödel se negó a contestarle. Así pues, Wheeler se negó también a contestar a Chaitin.

Cuando Chaitin topó con la prueba de la incomputabilidad de Turing, pensó que ahí debía de estar la clave. Descubrió también el libro de Shannon y Weaver, *La teoría matemática de la comunicación*, y se quedó de piedra ante la reformulación, aparentemente invertida, de la entropía: una entropía de bits, que miden la información por un lado y el desorden por otro. El elemento común era la aleatoriedad, pensó de repente Chaitin. Shannon asociaba de un modo harto ilógico aleatoriedad e información. Los físicos habían descubierto la aleatoriedad

dentro del átomo, el tipo de aleatoriedad que deploraba Einstein cuando se quejaba de Dios y su partida de dados. Todos aquellos héroes de la ciencia habían hablado y perorado acerca de la aleatoriedad.

Una simple palabra, *aleatorio*, y todo el mundo sabe lo que quiere decir. O sea, todo el mundo y nadie. Los filósofos y los matemáticos peleaban a brazo partido en una lucha sin fin. Wheeler, por fin, dijo lo siguiente: «La probabilidad, como el tiempo, es un concepto inventado por los humanos, y los humanos tienen que cargar con la responsabilidad de las oscuridades que comporta».^[12.6] El lanzamiento de una moneda equilibrada al aire es aleatorio, aunque todos los detalles de la trayectoria de la moneda puedan ser determinados a la manera de Newton. Si la población de Francia en un momento dado es par o impar es algo aleatorio, pero la población de Francia en sí seguramente *no* es algo aleatorio: es una realidad definida, aunque no cognoscible.^[12.7] John Maynard Keynes abordó la cuestión de la aleatoriedad apelando a sus contrarios, y eligió tres de ellos: el conocimiento, la causalidad y la finalidad.^[12.8] Lo que se conoce de antemano, lo que viene determinado por una causa, y lo que está organizado según un plan no pueden ser cosas aleatorias.

«La casualidad es solo la medida de nuestra ignorancia», dice la famosa frase de Henri Poincaré.^[12.9] «Los fenómenos fortuitos son por definición aquellos cuyas leyes no conocemos». E inmediatamente se desdecía: «¿Es esta definición muy satisfactoria? Cuando los primeros pastores caldeos observaron los movimientos de los astros, todavía no conocían las leyes de la astronomía, ¿pero acaso se les habría ocurrido decir que los astros se movían aleatoriamente?». Para Poincaré, que comprendió lo que era el caso mucho antes de que se convirtiera en una ciencia, los ejemplos de aleatoriedad incluían fenómenos tales como la dispersión de las lluvias, cuyas causas están determinadas físicamente, pero son tan numerosas y complejas que los hacen impredecibles. En física —o en cualquier otro campo en el que los procesos naturales parezcan impredecibles— la aparente aleatoriedad puede ser un ruido o puede venir de dinámicas sumamente complejas.

La ignorancia es subjetiva. Es una cualidad del observador. Presumiblemente la aleatoriedad —si es que existe— sería una cualidad del propio objeto. Dejando a un lado a los humanos, nos gustaría decir que un suceso, una opción, una distribución, un juego o, simplemente, un número son cosas aleatorias.

El concepto de número aleatorio está lleno de dificultades. ¿Puede haber algo que sea un número aleatorio *en particular*? ¿Un número aleatorio *cierto*? Este número es supuestamente aleatorio:

10097325337652013586346735487680959091173929274945...^[12.10]

De nuevo se trata de algo especial. Es el comienzo de un libro publicado en 1955 con el título *Un millón de dígitos aleatorios*. La RAND Corporation generó esos dígitos por medio de lo que calificó como una ruleta electrónica:^[12.11] un generador de pulsaciones, capaz de emitir cien mil pulsaciones por segundo, controladas por un contador binario de cinco puestos, pasadas luego por un convertidor de binario a decimal, insertadas en una perforadora IBM, e impresas luego por un Cardatype IBM modelo 856. El proceso duró años. Cuando fue comprobada la primera hornada de números, los estadísticos descubrieron algunos sesgos significativos: dígitos, o grupos de dígitos, o patrones de dígitos que aparecían con demasiada frecuencia o con una frecuencia insuficiente. Sin embargo, finalmente fueron publicadas las tablas: «Debido a la propia naturaleza de las tablas», decían secamente los editores, «no se consideró necesario hacer una corrección de pruebas de cada página del manuscrito final para localizar los errores aleatorios del Cardatype».

El libro tuvo compradores porque los científicos tenían necesidad de números aleatorios al por mayor, para usarlos en el diseño de experimentos estadísticamente válidos y para construir modelos realistas de sistemas complejos. El nuevo método de simulación de Monte Carlo empleaba muestreos aleatorios para modelar fenómenos que no pudieran resolverse por medios analíticos; la simulación de Monte Carlo fue inventada por el equipo de von Neumann que trabajaba en el proyecto de la bomba atómica (fueron ellos también quienes le dieron nombre), y que intentaba desesperadamente generar números aleatorios que les ayudara a calcular la difusión de neutrones. Von Neumann se dio cuenta de que una computadora mecánica, con sus algoritmos deterministas y su limitada capacidad de almacenamiento, no podría generar nunca números verdaderamente aleatorios. Tendría que conformarse con números *pseudoaleatorios*: números generados de forma determinista que se comportaran como si fueran aleatorios. Eran lo bastante aleatorios para su uso con fines prácticos. «Cualquiera que busque métodos aritméticos de producir

dígitos aleatorios se encuentra, por supuesto, en estado de pecado», decía von Neumann.^[12.12]

La aleatoriedad podía definirse en términos de orden, esto es por la ausencia de orden. No cabría llamar «aleatoria» a una cadena de números ordenadamente pequeña como la siguiente:

00000

Sin embargo, esta secuencia hace una aparición de estrella invitada en medio del famoso millón de números aleatorios. En términos de probabilidad, lo que cabría esperar sería: «00000», como verosímilmente ocurriría con cualquiera de las demás 99.999 posibles series de cinco dígitos. En otro momento entre el millón de dígitos aleatorios encontramos:

010101

Esta secuencia también parece responder a un patrón.

Seleccionar fragmentos de patrones en esta jungla de dígitos exige el trabajo de un observador inteligente. Dada una cadena aleatoria lo bastante larga, aparecerá en alguna parte cualquier sub-cadena posible lo suficientemente corta. Una de ellas será la combinación de la caja fuerte del banco. Otra será las obras completas de Shakespeare codificadas. Pero no servirán de nada, porque nadie podrá encontrarlas.

Quizá podamos decir que números como 00000 y 010101 pueden ser aleatorios en un determinado contexto. Si una persona tira al aire una moneda equilibrada (uno de los generadores mecánicos más sencillos de números aleatorios) lo suficientemente larga, en un momento determinado la moneda no tendrá más remedio que dar cara diez veces seguidas. Cuando eso ocurra, el buscador de números aleatorios descartará el resultado y dirá que hace una pausa para tomar un café. Esta es una de las maneras en las que los humanos salen peor parados a la hora de generar números aleatorios, incluso con asistencia mecánica. Los investigadores han establecido que la intuición humana es inútil tanto a la hora de predecir la aleatoriedad como a la hora de reconocerla. Quieran o no, los humanos se dejan llevar hacia el patrón. La Biblioteca Pública de Nueva York compró un ejemplar del libro *A Million Random Digits* y lo clasificó en la sección de Psicología. En 2010 seguía disponible en Amazon al precio de ochenta y un dólares.

Un número —según lo entendemos ahora— es información. Cuando los modernos, los herederos de Shannon, pensamos en la información en su forma más pura, nos imaginamos una cadena de ceros y unos, un número binario. He aquí dos cadenas binarias, de cincuenta dígitos de longitud

A: 01

B: 10001010111110101110100110101000011000100111101111

Si Alice (A) y Bob (B) dicen que han generado sus cadenas lanzando una moneda al aire, nadie creerá a Alice. Las cadenas no son con toda seguridad igualmente aleatorias. La teoría clásica de la probabilidad no proporciona ningún motivo sólido para afirmar que B es más aleatorio que A, porque un proceso aleatorio no podría producir ni una cadena ni otra. La probabilidad tiene que ver con conjuntos, no con sucesos individuales. La teoría de la probabilidad trata los sucesos estadísticamente. No le gustan las preguntas del siguiente tenor: «¿Cómo de probable era que sucediera eso?». Si sucedió, sucedió.

A Claude Shannon, esas cadenas le parecerían mensajes. Preguntaría: ¿*Cuánta información* contiene cada cadena? A primera vista, los dos contienen cincuenta bits. Un empleado de telégrafos que cobrara por dígitos mediría la longitud de los mensajes y entregaría a Alice y a Bob la misma factura. Pero, por otra parte, los dos mensajes parecen profundamente distintos. El mensaje A inmediatamente resulta aburrido: en cuanto vemos el patrón, las ulteriores repeticiones no proporcionan nueva información. En el mensaje B, cada bit es tan valioso como cualquier otro. La primera formulación de la teoría de la información de Shannon trataba los mensajes estadísticamente, como opciones entre el conjunto de todos los mensajes posibles: en el caso de A y en el de B, un 2^{50} de ellos. Pero Shannon tenía también en cuenta la redundancia dentro del mensaje: el patrón, la regularidad, el orden que hace comprensible un mensaje. Cuanto más previsible, más redundante. Y cuanto más redundante es un mensaje, menos información contiene.

El empleado de telégrafos que enviara el mensaje A tendría una manera de acortar su trabajo: podría transmitir, por ejemplo: «Repítase “01” veinticinco

veces». Para mensajes más largos con patrones fáciles, el ahorro de pulsaciones de tecla sería enorme. Una vez que está claro el patrón, los caracteres extra son gratis. Con el mensaje B el empleado tiene que trabajar duro todo el tiempo, transmitiendo todos y cada uno de los caracteres, pues cada carácter es una auténtica sorpresa; cada carácter cuesta un bit. Este par de preguntas —¿cómo de aleatorio? y ¿cuánta información?— acaban siendo una y la misma. Tienen una sola respuesta.

Chaitin no pensaba en telegramas. El aparato que no podía quitarse de la cabeza era la máquina de Turing, aquella elegante abstracción imposible, que avanza y retrocede en su cinta de papel infinita, leyendo y escribiendo símbolos. Libre de todo el desbarajuste del mundo real, libre del ruido de los mecanismos y de los líos de la electricidad, libre de cualquier necesidad de celeridad, la máquina de Turing era la computadora ideal. También Von Neumann había seguido recurriendo una y otra vez a las máquinas de Turing. Eran los ratones de laboratorio siempre a mano de la teoría de la computación. La *U* (Máquina Universal) de Turing tenía un poder trascendente: una máquina universal de Turing puede simular cualquier otra computadora digital, de modo que los expertos en la ciencia de la computación pueden prescindir de los complicados detalles de cualquier marca o modelo en particular. Lo cual supone una liberación.

Claude Shannon, que había pasado de los Laboratorios Bell al MIT, volvió a analizar la máquina de Turing en 1956. La descompuso reduciéndola al esqueleto más pequeño posible, demostrando que la computadora universal podía ser construida con solo dos estados internos, o simplemente con dos símbolos, 0 y 1, o blanco y no blanco. Escribió su demostración utilizando unas palabras más pragmáticas que matemáticas: describió exactamente cómo la máquina de dos estados de Turing avanzaba hacia la izquierda y hacia la derecha, «saltando» hacia delante y hacia atrás para estar al tanto del mayor número de estados que tiene una computadora más compleja. Era todo muy engorroso y específico, y recordaba mucho a Babbage. Por ejemplo:

Cuando el cabezal lector se mueve, la información de estado debe pasarse a la siguiente celda de la cinta que va a ser visitada utilizando solo dos estados internos de la máquina B. Si el siguiente estado de la máquina A va a ser (pongamos por caso) el estado 17 (según un sistema de numeración arbitraria), se pasa a la

máquina B haciendo «saltar» al lector hacia delante y hacia atrás entre la celda anterior y la nueva diecisiete veces (en realidad dieciocho pasos a la celda nueva y diecisiete a la vieja).^[12.13]

El «salto» traslada la información de una celda a otra, y las celdas actúan como «transmisores» y «controladores».

Turing había titulado su artículo «Sobre los números computables», aunque, por supuesto, el verdadero centro de interés eran los números *no* computables. ¿Podían estar relacionados los números no computables y los aleatorios? En 1965 Chaitin estaba estudiando todavía en el City College de Nueva York, redactando un trabajo sobre un descubrimiento que quería proponer a una revista: iba a ser su primera publicación. Empezaba diciendo lo siguiente: «En este artículo la máquina de Turing es vista como una computadora de uso general y se plantean algunas cuestiones prácticas sobre su programación». Chaitin, cuando era estudiante de High-School en el Columbia Science Honors Program, había tenido ocasión de practicar programación en lenguaje de máquina en computadoras centrales enormes de IBM, utilizando juegos de tarjetas perforadas, una por cada línea de un programa. Dejaba su juego de cartas en la computadora y volvía al día siguiente a recoger el resultado del programa. También él le daba vueltas en la cabeza a las máquinas de Turing: *Escribir 0, escribir 1, escribir blanco, mover la cinta a la izquierda, mover la cinta a la derecha...* La computadora universal le ofrecía una manera muy cómoda de distinguir entre números como los de las cadenas A y B de Alice y Bob. Chaitin era capaz de escribir un programa para que una máquina de Turing escribiera «010101...» un millón de veces, y podía poner por escrito la longitud de ese programa, por lo demás bastante breve. Pero ante un millón de dígitos aleatorios —sin patrón, sin regularidad, sin nada de nada especial— no eran posibles los atajos. El programa de la computadora tendría que incorporar la totalidad del número. Para que el ordenador central IBM escribiera ese millón de dígitos, tendría que poner todo ese millón de dígitos en las tarjetas perforadas. Y para que lo hiciera la máquina de Turing, necesitaría introducir el millón de dígitos.

He aquí otro número (en esta ocasión, con decimales):

C: 3,1415926535897932384626433832795028841971693993751...

Parece aleatorio. Estadísticamente cada dígito aparece con la frecuencia esperada (uno de cada diez); análogamente ocurre lo mismo con cada pareja de dígitos (uno de cada cien), con cada triplete, etcétera. Un estadístico diría que parece «normal», hasta donde puede uno decir. El siguiente dígito es siempre una sorpresa. Finalmente cabrían en él las obras de Shakespeare. Pero alguien podría reconocer en él un número con el que todos están familiarizados, el número π . Así que en último término no sería aleatorio.

Pero ¿por qué decimos que π no es aleatorio? Chaitin ofrecía una respuesta clara: un número no es aleatorio si es computable, esto es si un programa de computadora definible lo genera. Así pues, la computabilidad es una medida de aleatoriedad.

Para Turing la computabilidad era una cualidad de sí o no: un determinado número lo es o no lo es. Pero nos gustaría decir que algunos números son más aleatorios que otros, responden menos a un patrón, están menos ordenados. Chaitin decía que los patrones y el orden expresan la computabilidad. Los algoritmos generan patrones. Así que podemos medir la computabilidad fijándonos en *la dimensión de los algoritmos*. Una vez dado un número — representado como una cadena de la longitud que sea— nos preguntamos: ¿Cuál es la longitud del programa más corto que lo genera? Utilizando el lenguaje de una máquina de Turing, esta pregunta puede tener una respuesta definida, medida en bits.

La definición algorítmica de la aleatoriedad que ofrece Chaitin nos da también una definición algorítmica de la información: la dimensión del algoritmo mide cuánta información contiene una determinada cadena.

Lo que hacen los científicos es también buscar patrones, tratar de encontrar el orden en medio del caos. A sus dieciocho años, Chaitin pensaba que no era un accidente. Concluía su primer artículo aplicando la teoría de la información algorítmica al proceso de la propia ciencia. «Figurémonos un científico», decía, «que ha estado observando un sistema cerrado que una vez por segundo emite o no emite un rayo de luz».

Resume sus observaciones con una secuencia de ceros y unos en la que el cero quiere decir «rayo no emitido» y uno quiere decir «rayo emitido». La secuencia podría empezar de la siguiente manera:

0110101110...

y seguir con unos cuantos miles de bits más. El científico entonces examina la secuencia con la esperanza de observar en ella algún tipo de patrón o ley. ¿Qué es lo que entiende por eso? Parece plausible que una secuencia de ceros y unos carezca de patrón si no hay una manera mejor de calcularla que escribirla de una vez copiándola de una tabla que recoja toda la secuencia.^[12.14]

Pero si el científico descubriera una manera de producir la misma secuencia con un algoritmo, un programa de computadora significativamente más breve que la secuencia, entonces sabría con seguridad que los sucesos no eran aleatorios. Diría que había descubierto una teoría. Eso es lo que busca siempre la ciencia: una simple teoría que explique un conjunto más largo de hechos y que permita predecir unos sucesos que están todavía por venir. Es la famosa navaja de Occam. «No debemos admitir más causas de las cosas naturales que las que son verdad y bastan para explicar sus apariencias», decía Newton, «pues la naturaleza se complace con la sencillez».^[12.15] Newton cuantificó la *masa* y la *fuerza*, pero la *sencillez* tendría que esperar.

Chaitin envió su artículo al *Journal of the Association for Computing Machinery*. La revista estuvo encantada de publicarlo, pero uno de los evaluadores comentó que había oído rumores de la existencia de un trabajo similar proveniente de la Unión Soviética. Pues bien, a comienzos de 1966 (tras un viaje de varios meses de duración) llegó el primer número de una nueva revista: Проблемы Передачи Информации, esto es *Problemas de Transmisión de la Información*. Contenía un artículo titulado «Tres aproximaciones a la definición del concepto de “cantidad de información”», de A. N. Kolmogórov. Chaitin, que no sabía ruso, solo tuvo tiempo de añadir una nota al pie.

Andréi Nikoláevich Kolmogórov fue el matemático más destacado de la era soviética. Había nacido en Tambov, a unos quinientos kilómetros al sudeste de Moscú, en 1903; era hijo de soltera, y su madre, una de las tres hermanas Kolmogórova, murió de parto. El niño se crió con su tía Vera en una aldea cerca del río Volga. En los últimos años de la Rusia zarista, esta mujer de espíritu independiente dirigía la escuela de pueblo y tenía una imprenta clandestina en su

casa, en la que a veces llegó a ocultar documentos prohibidos en la cuna del pequeño Andréi.^[12.16]

La universidad de Moscú admitió a Andréi Nikoláevich para estudiar matemáticas poco después de la revolución de 1917. Al cabo de diez años logró demostrar una serie de influyentes resultados que darían forma a lo que sería la teoría de la probabilidad. Sus *Fundamentos de la teoría de la probabilidad*, publicados en ruso en 1933 y en inglés en 1950, siguen siendo un clásico de las matemáticas modernas. Pero sus intereses eran muy vastos y se extendían a la física y a la lingüística, así como a otras ramas de las matemáticas en rápido desarrollo. En una ocasión realizó una incursión en el campo de la genética, pero dio marcha atrás tras un peligroso altercado con el pseudocientífico favorito de Stalin, Trofim Lysenko. Durante la segunda guerra mundial Kolmogórov aplicó sus esfuerzos a la teoría estadística en el fuego de artillería y aconsejó la adopción de un plan de distribución estocástica de barreras de globos para proteger Moscú de los bombardeos de los nazis. Aparte de su trabajo durante la guerra, estudió las turbulencias y los procesos aleatorios. Fue reconocido como Héroe del Trabajo Socialista y recibió en siete ocasiones la Orden de Lenin.

En 1953 vio por primera vez la *Teoría matemática de la comunicación* de Claude Shannon traducida al ruso y purgada de sus elementos más interesantes por un traductor ruso supeditado a la pesada sombra de Stalin. El título de la obra se convirtió en *Teoría estadística de la transmisión de señales eléctricas*. La palabra *información*, информация, fue sustituida en todos los casos por *данные*, *datos*. El término *entropía* fue colocado siempre entre comillas para advertir al lector que no debía deducir una relación con la entropía de la física. La sección en la que se aplicaba la teoría de la información a la estadística del lenguaje natural fue omitida por completo. El resultado de todo ello fue una obra técnica, neutra, sin sustancia y por lo tanto muy poco susceptible de suscitar una interpretación en términos de la ideología marxista.^[12.17] Se trataba de cuestiones muy serias: la «cibernética» fue definida en un primer momento en el *Breve Diccionario Filosófico* (obra de referencia estándar de la ortodoxia ideológica) como una «pseudociencia reaccionaria» y como «arma ideológica de la reacción imperialista». Kolmogórov, sin embargo, fue más allá del librito de Shannon; él, al menos, no tuvo miedo de utilizar la palabra *información*. En colaboración con sus estudiantes de Moscú, propuso una rigurosa formulación

matemática de la teoría de la información, con definición de algunos conceptos fundamentales, demostraciones cuidadosas, y nuevos descubrimientos, algunos de los cuales, como después sabría para bochorno suyo, habían aparecido ya en el trabajo original de Shannon, aunque habían sido omitidos de la traducción rusa.^[12.18]

En la Unión Soviética, todavía moderadamente aislada del resto de la ciencia mundial, Kolmogórov estaba muy bien situado para erigirse en portador de la bandera de la información. Estaba al frente de toda la sección de matemáticas de la *Gran Enciclopedia Soviética*, con capacidad para escoger a los autores de los artículos, editarlos, y escribir personalmente buena parte de ellos. En 1956 pronunció un extenso informe plenario sobre la teoría de la transmisión de la información ante la Academia Soviética de las Ciencias. Sus colegas pensaron que era un poquito «confuso», y que la obra de Shannon era «más tecnología que matemáticas», como luego recordaría Kolmogórov.^[12.19] «Es cierto», decía, «que Shannon dejó en manos de sus sucesores la “justificación” rigurosa de sus ideas en algunos casos difíciles. Sin embargo, su intuición matemática fue sorprendentemente precisa». Kolmogórov no estaba tan entusiasmado por la cibernética. Norbert Wiener sentía una gran afinidad con él: los dos habían realizado anteriormente trabajos sobre los procesos estocásticos y el movimiento browniano. Durante una visita a Moscú, Wiener comentó: «Cuando leo las obras del académico Kolmogórov, tengo la sensación de que esos pensamientos son también los míos, que eso es lo que yo quería decir. Y sé que el académico Kolmogórov tiene la misma sensación cuando lee mis obras».^[12.20] Pero evidentemente esos sentimientos no eran compartidos. Por el contrario, Kolmogórov dirigió la atención de sus colegas hacia Shannon. «Resulta fácil comprender que como disciplina matemática la cibernética, tal como la concibe Wiener, carece de unidad», decía, «y cuesta trabajo imaginar que sea productivo adiestrar a un especialista, digamos a un postgraduado, en la cibernética en este sentido».^[12.21] Disponía ya de resultados reales que respaldaran sus instintos; una formulación generalizada y muy útil de la entropía de Shannon y una extensión de la medida de información de este a los procesos en tiempo discreto y en tiempo continuo.

Finalmente el prestigio empezó a rodear también en Rusia a cualquier trabajo que prometiera impulsar la comunicación electrónica y la computación. Este tipo

de trabajos surgieron casi de la nada. La ingeniería eléctrica práctica casi no existía; la telefonía soviética, según era sabido de todos, era pésima, hasta convertirse en objeto preferido del humor eternamente negro de los rusos. En 1965 no había nada que pudiera parecerse a una comunicación directa a larga distancia. El número de llamadas nacionales por conferencia todavía habría de superar el de telegramas, hito que se había alcanzado en los Estados Unidos antes de que acabara el siglo anterior. No obstante, Kolmogórov y sus discípulos generaron suficiente actividad para justificar la aparición de una nueva revista trimestral, *Problemas de Transmisión de la Información*, dedicada a la teoría de la información, la teoría de la codificación, la teoría de redes, e incluso la información en los seres vivos. El primer número se abrió con las «Tres Aproximaciones a la definición del concepto de “Cantidad de información”», del propio Kolmogórov, casi un manifiesto que inició así su lento viaje hacia el conocimiento de los matemáticos de Occidente.

«En todo momento existe solo una fina capa que separa lo “trivial” de lo imposible», anotó Kolmogórov en su diario. «Los descubrimientos matemáticos están hechos de esa capa.»^[12.22] En la nueva concepción cuántica de la información veía él una forma de abordar el problema que se le había escapado a la teoría de la probabilidad, el de la aleatoriedad. ¿Cuánta información es contenida en un «objeto finito» dado? Ese objeto podía ser un número (una serie de dígitos) o un mensaje o un conjunto de datos.

Kolmogórov describía en su artículo tres aproximaciones: la combinatoria, la probabilista, y la algorítmica. La primera y la segunda eran las de Shannon, con algunos refinamientos. Se centraban en la probabilidad de un solo objeto entre un conjunto de ellos, un mensaje en particular, pongamos por caso, escogido entre una serie de mensajes posibles. ¿Cómo podía funcionar una cosa así, se preguntaba Kolmogórov, cuando el objeto no era solo un símbolo en un alfabeto o un farol en la ventana de una iglesia, sino algo grande y complicado, un organismo genético o una obra de arte? ¿Cómo iba a medir uno la cantidad de información existente en *Guerra y paz* de Tolstoi? «¿Es posible incluir esta novela de modo razonable en el conjunto de “todas las novelas posibles” y luego postular la existencia de cierta distribución de probabilidad en este conjunto?», se preguntaba.^[12.23] ¿O podía medirse la cantidad de información genética existente, digamos, en el cuco considerando una distribución de probabilidad en

el conjunto de todas las especies posibles?

Esta tercera aproximación a la medida de la información —la algorítmica— soslayaba las dificultades de empezar por los conjuntos de objetos posibles. Se centraba en el objeto mismo.^[12.24] Kolmogórov introdujo una nueva palabra para la cosa que intentaba medir: *complejidad*. Según la definición que hacía de este término, la complejidad de un número, o de un mensaje, o de una serie de mensajes es la inversa de la simplicidad y el orden y, una vez más, se corresponde con la información. Cuanto más simple es un objeto, menos información aporta. Cuanta más complejidad, más información. Y, como hiciera Chaitin, Kolmogórov dio un sólido apoyo matemático a esta idea calculando la complejidad en términos de algoritmos. La complejidad de un objeto es el tamaño del programa más pequeño de computadora que se necesita para generarlo. Un objeto que puede ser producido por un algoritmo breve tiene poca complejidad. Por otra parte, un objeto que necesita un algoritmo tal que cada bit es tan largo como el propio objeto tiene la máxima complejidad.

Un objeto simple puede ser generado —o computado, o descrito— con unos pocos bits. Un objeto complejo necesita un algoritmo de muchos bits. Planteado de esta manera, parece obvio. Pero hasta ese momento no se había comprendido matemáticamente. Kolmogórov lo planteaba de la siguiente manera:

La diferencia intuitiva entre los objetos «simples» y los «complicados» ha sido percibida, al parecer, hace ya mucho tiempo. De cara a su formalización, se plantea una dificultad evidente: una cosa que puede ser descrita simplemente en una lengua puede no tener una descripción simple en otra y no está claro qué método de descripción habría que elegir.^[12.25]

La dificultad se resuelve usando el lenguaje de las computadoras. No importa qué lenguaje de computadoras, pues todos son equivalentes, reducibles en último término al lenguaje de una máquina universal de Turing. La complejidad de un objeto de Kolmogórov es el tamaño, en bits, del algoritmo más corto que se necesita para generarlo. Esa es también la cantidad de información. Y es también el grado de aleatoriedad: Kolmogórov afirmaba que había «un nuevo concepto de la noción de “aleatorio” correspondiente al supuesto natural de que la aleatoriedad es la falta de regularidad».^[12.26] Los tres son fundamentalmente equivalentes: información, aleatoriedad y complejidad, tres poderosas

abstracciones ligadas entre sí como amantes secretos.

Para Kolmogórov estas ideas pertenecían no solo a la teoría de la probabilidad, sino también a la física. Para medir la complejidad de un cristal regular o de una caja llena de gas al buen tuntún, podría medirse el algoritmo más corto que se necesita para describir el estado del cristal o del gas. Una vez más la clave era la entropía. Kolmogórov tenía una formación muy útil en la resolución de problemas difíciles de física a los que podía aplicarse este nuevo método. En 1941 había producido la primera explicación útil, aunque imperfecta, de la estructura local de los flujos turbulentos: ecuaciones para predecir la distribución de las volutas y los remolinos. Había trabajado también en las perturbaciones de las órbitas planetarias, otro problema sorprendentemente inabordable por la física newtoniana clásica. Empezaba así a poner los cimientos del renacimiento de la teoría del caos, que no llegaría hasta los años setenta: analizando los sistemas dinámicos en términos de entropía y de dimensión de la información. Ahora tenía sentido decir que un sistema dinámico produce información. Si es impredecible, produce una gran cantidad de información.

Kolmogórov no sabía nada de Gregory Chaitin, y ninguno de los dos conocía a un estudioso de la teoría de la probabilidad americano llamado Ray Solomonoff, que había desarrollado algunas de sus mismas ideas. El mundo estaba cambiando. El tiempo, la distancia y el idioma todavía separaban a los matemáticos rusos de sus homólogos de Occidente, pero la brecha se estrechaba año tras año. Kolmogórov decía a menudo que nadie debía dedicarse a las matemáticas después de cumplir los sesenta. Soñaba con pasar sus últimos años ocupándose del mantenimiento de las boyas en el Volga, haciendo un circuito en una barca de remo con una pequeña vela.^[12.27] Cuando llegó el momento, los vigilantes de las boyas se habían pasado a las motoras y para Kolmogórov eso supuso la ruina de sus sueños.

Ahora empezaban de nuevo las paradojas.

El cero es un número interesante. Se han escrito libros enteros sobre él. El uno es desde luego también un número interesante: es el primero y el principal (sin contar el cero), singular y único. El dos es interesante por todos los

conceptos: es el número primo más pequeño, el número par definitivo, el número que se necesita para que haya un matrimonio, el número atómico del helio, y el número de velas que se encienden el Día de la Independencia de Finlandia. *Interesante* es una palabra corriente, no un término de la jerga matemática. Parece inocuo decir que cualquier número pequeño es interesante. Todos los números de dos dígitos y muchos de tres tienen su propio artículo en Wikipedia.

Los teóricos de los números citan clases enteras de números interesantes: números primos, números perfectos, cuadrados y cubos, números de Fibonacci, y números factoriales. El número 593 es más interesante de lo que parece; resulta que es la suma de nueve al cuadrado y dos elevado a nueve, y por lo tanto un «número de Leyland» (cualquier número que pueda expresarse como $x^y + y^x$). Wikipedia dedica también un artículo al número 9.814.072.356. Es el cuadrado holodigital más grande que existe, lo que significa el número al cuadrado más grande que contiene todos los dígitos decimales exactamente una vez.

¿Qué sería un número sin interés? Presumiblemente un número aleatorio. El teórico inglés de los números G. H. Hardy cogió aleatoriamente el taxi N.º 1.729 cuando en 1917 fue a visitar a Srinivasa Ramanujan, que estaba enfermo, y comentó a su colega que, según los números, el 1.729 era «bastante soso». Todo lo contrario, replicó Ramanujan (según una típica anécdota de matemático), es el número más pequeño que puede expresarse como la suma de dos cubos de dos maneras distintas.^(12.i) «Cualquier número entero positivo es un amigo personal de Ramanujan», comentaba J. E. Littlewood. Debido a esta anécdota, el 1.729 es conocido en la actualidad como el número Hardy-Ramanujan. Y eso no es todo: resulta que el 1.729 es también un número de Carmichael, un pseudo-primo de Euler, y un número de Zeisel.

Pero incluso la mente de Ramanujan era finita, lo mismo que Wikipedia, lo mismo que la suma en conjunto de todo el conocimiento humano, de modo que la lista de números interesantes tiene que acabar en algún sitio. Seguramente existirá un número sobre el cual no habrá nada especial que decir. Está donde esté, supone una paradoja: el número que podríamos describir de modo harto interesante como «el número sin interés más pequeño».

Esto no es ni más ni menos que la paradoja de Berry resucitada, la que describía Bertrand Russell en sus *Principia Mathematica*. Berry y Russell habían planteado una pregunta diabólica: ¿Cuál es el número entero positivo que no se

puede definir con menos de quince sílabas? Sea cual sea ese número, puede ser definido con dieciséis sílabas: *el número entero que no se puede definir con menos de dieciséis sílabas*. Las explicaciones de qué es lo que hace interesante un número son siempre maneras de definir ese número: «El cuadrado de once», por ejemplo, o «el número de estrellas que hay en la bandera americana». Algunos de esos nombres no parecen particularmente útiles, y algunos son bastante confusos. Algunos son puros hechos matemáticos: si, por ejemplo, un número puede expresarse como la suma de dos cubos de dos maneras distintas. Pero algunos son hechos que tienen que ver con el mundo, o con el lenguaje, o con los seres humanos, y pueden ser accidentales y efímeros: por ejemplo si un número corresponde a una parada del metro o a una fecha histórica.

Chaitin y Kolmogórov resucitaron la paradoja de Berry en la teoría algorítmica de la información. Un algoritmo define un número. «La paradoja habla originalmente del inglés, pero eso es demasiado vago», dice Chaitin.^[12.28] «En su lugar cojo un lenguaje de programación de computadoras». Naturalmente coge el lenguaje de una máquina universal de Turing.

Y entonces ¿qué significa? ¿Cómo se define un número entero? Bueno, pues se define un número entero dando la forma de calcularlo. Un programa define un número entero si su resultado es ese entero, o sea, produce ese número entero, solo uno, y luego se para.

Preguntar si un número es interesante o no es lo contrario de preguntar si es aleatorio o no. Si el número n puede ser computado por un algoritmo relativamente corto, entonces n es interesante. Si no, es aleatorio. El algoritmo ESCRIBE 1 Y LUEGO ESCRIBE 100 CEROS genera un número interesante (un googol). Análogamente, ENCUENTRA EL PRIMER NÚMERO PRIMO, AÑÁDELE EL SIGUIENTE NÚMERO PRIMO, Y REPÍTELO UN MILLÓN DE VECES genera un número interesante: la suma del primer millón de números primos. Una máquina de Turing tardaría mucho tiempo en computar ese número en concreto, pero en cualquier caso sería un tiempo finito. El número es computable.

Pero si el algoritmo más conciso de n es «ESCRIBE [n]» —un algoritmo que incorpora la totalidad del número, sin ninguna abreviación— podemos decir que n no tiene nada de interesante. En términos de Kolmogórov, ese número es

aleatorio, tiene el máximo de complejidad. Tendrá que carecer de patrón, pues cualquier patrón proporcionaría una forma de idear un algoritmo abreviado. «Si existe un programa de computadora corto, conciso, capaz de calcular el número, eso significa que tiene alguna cualidad o característica que te permite seleccionarlo y comprimirlo reduciéndolo a una descripción algorítmica más pequeña», dice Chaitin. «Y eso es algo insólito; eso es un número interesante».

¿Pero realmente es insólito? Si se fija en general en todos los números, ¿cómo puede saber un matemático si los números interesantes son raros o corrientes? A decir verdad, si se fija en cualquier número, ¿puede un matemático saber con seguridad si puede encontrarse un algoritmo más pequeño? Para Chaitin esas eran las cuestiones trascendentales.

A la primera de ellas respondía con un argumento de cálculo. La inmensa mayoría de los números tienen que ser poco interesantes porque no pueden existir programas de ordenador lo bastante concisos para todos. Contémoslos. Dados mil bits (pongamos por caso), tenemos $2^{1.000}$ números; pero ni de lejos pueden todos esos programas de computadora ser escritos en 1.000 bits. «Hay muchísimos números enteros positivos», dice Chaitin. «Si los programas tienen que ser más pequeños, no habrá los suficientes para definir todos esos números enteros positivos distintos». Así que la mayoría de los números n de una determinada longitud son aleatorios.

La siguiente cuestión era mucho más inquietante. Sabiendo que la mayoría de los números son aleatorios, y dado un número n en particular, ¿pueden demostrar los matemáticos que es aleatorio? No pueden decirlo a simple vista. A menudo pueden demostrar lo contrario, esto es que n es interesante: en tal caso solo tienen que encontrar un algoritmo corto que genere n . (Técnicamente tiene que ser más corto que $\log_2 n$ bits, el número que se necesita para escribir n en binario). Demostrar lo contrario es otra historia. «Aunque la mayoría de los números enteros positivos carece de interés», afirmaba Chaitin, «nunca puede uno estar seguro [...] Solo puede demostrarse en un pequeño número de casos». Cabe imaginar que se intente hacer por la fuerza bruta, escribiendo todos los algoritmos posibles y comprobándolos uno por uno. Pero una computadora tendrá que realizar las comprobaciones —un algoritmo que comprueba otros algoritmos—, y enseguida, demostraba Chaitin, aparece una nueva versión de la paradoja de Berry. En vez del «número sin interés más pequeño» uno se

encuentra inevitablemente una afirmación formulada de la siguiente manera: «El número más pequeño que podemos demostrar que no puede ser definido en menos de n sílabas». (En realidad ya no estamos hablando de sílabas, por supuesto, sino de estados de la máquina de Turing.)^(12.ii) Es otro giro recursivo que vuelve sobre sí mismo. Era la versión que hacía Chaitin de la incompletitud de Gödel. La completitud, definida en términos de tamaño del programa, es generalmente incomputable. Ante una secuencia arbitraria de un millón de dígitos, un matemático sabe que es casi con toda certeza aleatoria, compleja y carente de patrón; pero no puede estar totalmente seguro de ello.

Chaitin hizo este trabajo en Buenos Aires. Cuando todavía era un adolescente, antes de llegar a graduarse en el City College, sus padres regresaron a su tierra natal, Argentina, y el joven encontró allí un empleo en IBM World Trade. Continuó nutriendo su obsesión por Gödel y la incompletitud y enviando artículos a la American Mathematical Society y a la Association for Computing Machinery. Ocho años después, Chaitin regresó a los Estados Unidos para visitar el centro de investigación de IBM en Yorktown Heights, Nueva York, y puso una conferencia a su héroe, que estaba a punto ya de cumplir los setenta años en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. Gödel respondió al teléfono y Chaitin se presentó a sí mismo diciendo que tenía un nuevo enfoque de la incompletitud, basado en la paradoja de Berry, en vez de en la paradoja del mentiroso.

«No importa qué paradoja emplee usted», dijo Gödel.^[12.29]

«Sí, pero...». Chaitin replicó que estaba tras la pista de una nueva visión de la incompletitud según la «teoría de la información» y preguntó a Gödel si podía pasar a visitarlo en Princeton. Estaba en el YMCA de White Plains y solo tendría que coger el tren y cambiar en Nueva York. Gödel se mostró de acuerdo, pero cuando llegó el día, canceló la cita. Estaba nevando y temía por su salud. Chaitin nunca llegó a entrevistarse con él. Gödel, cada vez más inestable mentalmente, temía que quisieran envenenarlo. Murió de inanición en el invierno de 1978.

Chaitin pasó el resto de su carrera en el Centro de Investigación Watson de IBM, y fue uno de los últimos grandes científicos que recibió buenos apoyos realizando un trabajo que no tenía una utilidad plausible para la empresa que lo subvencionaba. A veces decía que estaba «escondido» en un departamento de física; tenía la impresión de que los matemáticos más convencionales lo

despreciaban por ser un «físico que no ha salido del armario». Su obra trataba las matemáticas como una especie de ciencia empírica, no como un conducto platónico hacia la verdad absoluta, sino como un programa de investigación sujeto a las contingencias e incertidumbres del mundo. «A pesar de la incompletitud, de la incomputabilidad e incluso de la aleatoriedad algorítmica», decía, «los matemáticos no quieren renunciar a la seguridad absoluta. ¿Por qué? Bueno, es que la seguridad absoluta es como Dios».^[12.30]

En la física cuántica y luego en el caos, los científicos encontraron los límites de sus conocimientos. Exploraron la fructífera incertidumbre que en un primer momento tanto ofendía a Einstein, pues no quería creer que Dios jugaba a los dados con el universo. La teoría algorítmica de la información aplica esas mismas limitaciones al universo de todos los números, un universo mental, ideal. Como decía Chaitin, «Dios no solo juega a los dados en la mecánica cuántica y en la dinámica no lineal, sino incluso en la teoría elemental de los números».^[12.31]

He aquí algunas de sus enseñanzas:

- La mayoría de los números son aleatorios. Sin embargo, son muy pocos los que puede *demostrarse* que son aleatorios.
- Un flujo caótico de información puede ocultar, sin embargo, un algoritmo sencillo. Trabajar en sentido inverso yendo del caos al algoritmo puede ser imposible.
- La complejidad de Kolmogórov-Chaitin (KC) es a las matemáticas lo que la entropía a la termodinámica: el antídoto contra la perfección. Del mismo modo que no podemos tener máquinas de movimiento perpetuo, no puede haber sistemas axiomáticos formales completos.
- Algunas realidades matemáticas son verdaderas sin motivo alguno. Son accidentales, carecen de causa o de significado profundo.

Joseph Ford, un físico dedicado al estudio del comportamiento de los sistemas dinámicos imprevisibles durante los años ochenta, dijo que Chaitin había «captado de manera encantadora la esencia de la materia»^[12.32] demostrando el camino que va de la incompletitud de Gödel al caos. El

«significado profundo del caos» era el siguiente, según Ford:

Existen órbitas caóticas, pero son hijas de Gödel, tan complejas, tan sobrecargadas de información, que los humanos no podrán comprenderlas nunca. Pero el caos es ubicuo por naturaleza; por consiguiente, el universo está lleno de incontables misterios que el hombre no podrá entender nunca.

Sin embargo, todavía se sigue intentando tomarles la medida.

¿Cuánta información...?

Cuando un objeto (un número, o un flujo de bits o un sistema dinámico) puede ser expresado de manera distinta con menos bits, es comprensible. Un empleado de telégrafos parsimonioso preferirá enviar la versión comprimida. Como el espíritu de los empleados de telégrafos parsimoniosos era lo que mantenía las luces de los Laboratorios Bell encendidas, era natural que Claude Shannon investigara la compresión de datos, tanto en la teoría como en la práctica. La compresión era fundamental para su concepción: la obra que llevó a cabo durante la guerra acerca de la criptografía analizaba el enmascaramiento de la información en un extremo y la recuperación de la misma en el otro; análogamente, la compresión de datos codifica la información con una motivación distinta: el uso eficaz del ancho de banda. Los canales de televisión por satélite, los aparatos de música de bolsillo, las cámaras y teléfonos con buen rendimiento, y muchos otros accesorios modernos dependen de la codificación de algoritmos para comprimir números —secuencias de bits— y esos algoritmos se remontan al artículo de Shannon de 1948.

El primero de ellos, llamado en la actualidad codificación de Shannon-Fano, surgió de su colega Robert M. Fano. Empezó con la simple idea de asignar códigos breves a los símbolos frecuentes, como en el código Morse. No obstante, los dos sabían que su método no era el mejor: no cabía basarse en él para generar los mensajes más cortos posibles. Al cabo de tres años se vio superado por la obra de un discípulo ya graduado de Fano en el MIT, David Huffman. Durante las décadas siguientes, las sucesivas versiones del algoritmo de codificación de Huffman han comprimido muchísimos bytes.

Ray Solomonoff, hijo de emigrantes rusos que estudió en la Universidad de

Chicago, conoció la obra de Shannon a comienzos de los años cincuenta y empezó a reflexionar sobre lo que dio en llamar el Problema del Empaquetado de la Información.^[12.33] ¿Cuánta información podía «empaquetarse» en un número determinado de bits o, dicho de otra manera, dada una información, cuánta podía empaquetarse en la menor cantidad posible de bits? Solomonoff se había especializado en física; aparte había estudiado biología matemática, probabilidades y lógica, y había llegado a conocer a Marvin Minsky y a John McCarthy, pioneros de lo que no tardaría en llamarse inteligencia artificial. Luego leyó el original y excéntrico artículo de Noam Chomsky «Tres modelos para la descripción del lenguaje», en el que se aplicaban las nuevas ideas de la teoría de la información a la formalización de la estructura del lenguaje.^[12.34] Todos estos conceptos iban y venían por la mente de Solomonoff; no estaba seguro de adónde irían a parar, pero de pronto se encontró a sí mismo centrándose en el problema de la *inducción*. ¿Cómo crean las personas teorías para explicar su experiencia del mundo? Tienen que hacer generalizaciones, encontrar patrones en datos que están siempre influidos por la aleatoriedad y el ruido. ¿Puede conseguirse que una máquina haga eso? En otras palabras, ¿podía hacerse una computadora para aprender de la experiencia?

Desarrolló una elaborada respuesta a la cuestión y la publicó en 1964. Era muy característica y prácticamente no llamó la atención a nadie hasta los años setenta, cuando Chaitin y Kolmogórov descubrieron que Solomonoff se había adelantado a los rasgos esenciales de lo que entonces se llamó la teoría algorítmica de la información. En efecto, también Solomonoff había estado imaginando cómo podía una computadora examinar secuencias de datos — secuencias de números o series de bits— y medir su aleatoriedad y sus patrones ocultos. Cuando los humanos o las computadoras aprenden de la experiencia, utilizan la inducción: reconocen las regularidades y los flujos irregulares de información. Desde ese punto de vista, las leyes de la ciencia representan la compresión de datos en acción. Un físico teórico actúa como un algoritmo de codificación muy listo. «Las leyes de la ciencia que se han descubierto pueden considerarse resúmenes de grandes cantidades de datos empíricos acerca del universo», escribió Solomonoff. «En el contexto actual, cada una de esas leyes puede transformarse en un método de codificación compacta de los datos empíricos que han dado pie a esa ley.»^[12.35] Una buena teoría científica es

Huffman y otros algoritmos por el estilo explotan las regularidades estadísticas para comprimir los datos. Las fotografías son comprimibles debido a la estructura natural de sus objetos: los píxeles claros y los píxeles oscuros vienen en grupo; estadísticamente, los píxeles que están próximos es verosímil que sean parecidos; y los píxeles alejados no. El vídeo es todavía más susceptible de ser comprimido, pues las diferencias entre un fotograma y el siguiente son relativamente pequeñas, excepto cuando el objeto está en movimiento rápido y turbulento. El lenguaje natural es comprimible debido a unas redundancias y regularidades del tipo que analizó Shannon. Solo una secuencia totalmente aleatoria no será susceptible de ser comprimida: no hay más que una sorpresa tras otra.

Las secuencias aleatorias son «normales», término especializado que indica que por término medio, a la larga, cada dígito aparece exactamente con tanta frecuencia como los otros, una de cada diez veces; y cada par de dígitos, desde 00 hasta 99, aparece una vez cada cien; y cada triplete lo mismo; y así sucesivamente. No hay más probabilidad de que aparezca una serie de una determinada longitud que otra serie de esa misma longitud. La normalidad es una de esas ideas aparentemente simples que, cuando los matemáticos se fijan bien, resulta que están erizadas de espinas. Aunque una secuencia verdaderamente aleatoria deba ser normal, lo contrario no necesariamente es así. Un número puede ser estadísticamente normal, pero no aleatorio. David Champernowne, joven amigo de Turing en Cambridge, inventó (o descubrió) una cosa en 1933, una construcción formada por todos los números enteros, encadenados ordenadamente:

G: 12345678910111213141516171819202122232425262728293...

Es fácil comprobar que todos los dígitos, y todas las combinaciones de dígitos, aparecen a la larga con la misma frecuencia. Pero la secuencia no puede ser menos aleatoria. Está rígidamente estructurada y es completamente previsible. Si sabemos dónde estamos, sabemos lo que viene a continuación.

Aparte de anomalías como la de Champernowne, resulta que los números normales son difíciles de reconocer. En el universo de los números, la normalidad es la regla; los matemáticos saben con seguridad que casi todos los números son normales. Los números racionales no son normales, y hay infinitos

números racionales, pero los números normales son infinitamente más abundantes. Sin embargo, una vez solucionada la gran cuestión general, los matemáticos no pueden demostrar casi nunca que un determinado número es normal. Esta es de por sí una de las curiosidades más notables de las matemáticas.

Incluso p no deja de tener sus misterios:

C: 3,1415926535897932384626433832795028841971693993751...

Las computadoras del mundo han tardado muchos ciclos de reloj en analizar el primer trillón aproximadamente de decimales conocidos de este mensaje cósmico y, por lo que cualquiera puede decir, parecen normales. No se han descubierto elementos estadísticos (sesgos o correlaciones, locales o distantes). Es la quintaesencia de número no aleatorio que parece comportarse aleatoriamente. Dado el dígito n , no hay atajo alguno que permita conjeturar cuál es n más uno. Una vez más, el siguiente bit es una sorpresa.

Así pues, ¿cuánta información es representada por esta serie de dígitos? ¿Es rica en información, como un número aleatorio? ¿O pobre en información, como una secuencia ordenada?

El empleo de telégrafos podría ahorrarse, por supuesto, muchos golpes de tecla —a la larga infinitos— enviando sencillamente el mensaje « p ». Pero eso es una trampa. Presume un conocimiento compartido de antemano por el remitente y el destinatario. Por lo pronto, el remitente tiene que reconocer esa secuencia especial, y además el destinatario tiene que conocer qué es p , y cómo buscar su expansión decimal, o bien cómo computarla. En realidad, necesitan compartir un libro de códigos.

Eso no significa, sin embargo, que p contenga mucha información. El mensaje esencial puede enviarse con solo unos cuantos golpes de tecla. El empleo de telégrafos tiene varias estrategias a su alcance. Por ejemplo, podría decir: «Coge 4, réstale $4/3$, súmale $4/5$, réstale $4/7$, etcétera». Es decir, el empleo de telégrafos enviaría un algoritmo. La serie infinita de fracciones converge lentamente en p , de modo que el destinatario tiene un montón de trabajo que hacer, pero el mensaje en sí es económico: el contenido de información total es el mismo, independientemente de cuántos decimales se necesiten.

La cuestión del conocimiento compartido a uno y otro extremo de la línea trae complicaciones. A veces hay personas a las que les gusta formular este tipo de problemas —el problema del contenido de información de los mensajes— en términos de comunicación con una forma de vida extraña en una galaxia lejana. ¿Qué podríamos decirles? Como las leyes de las matemáticas son universales, solemos pensar que p es un mensaje que cualquier raza inteligente podría reconocer. Solo que no cabría esperar que conociera la letra griega. Y tampoco sería probable que conocieran los decimales «3,1415926535...» a menos que tuvieran diez dedos.

El remitente de un mensaje no puede conocer nunca del todo el libro de códigos mental de su destinatario. Dos luces en una ventana pueden no significar nada o pueden significar: «Los ingleses se acercan por el mar». Cada poema es un mensaje, distinto para cada lector. Hay una manera de conseguir que la confusión de esta línea de pensamiento se disipe. Chaitin la expresaba de la siguiente forma:

Es preferible considerar la comunicación no con un amigo distante, sino con una computadora digital. El amigo puede tener ganas de hacer deducciones acerca de los números o construir una serie a partir de una información parcial o a partir de unas instrucciones vagas. La computadora no tiene esa capacidad, y para lo que a nosotros nos interesa esa deficiencia supone una ventaja. Las instrucciones dadas a la computadora deben ser completas y explícitas, y deben permitirle proceder paso a paso.^[12.37]

En otras palabras: el mensaje es un algoritmo. El destinatario es una máquina; no tiene creatividad, ni incertidumbre, ni conocimientos, excepto que aquel «conocimiento», el que sea, es inherente a la estructura de la máquina. En los años sesenta del pasado siglo, las computadoras digitales estaban recibiendo ya sus instrucciones en una forma medida en bits, de modo que era natural pensar en cuánta información contenía cada algoritmo.

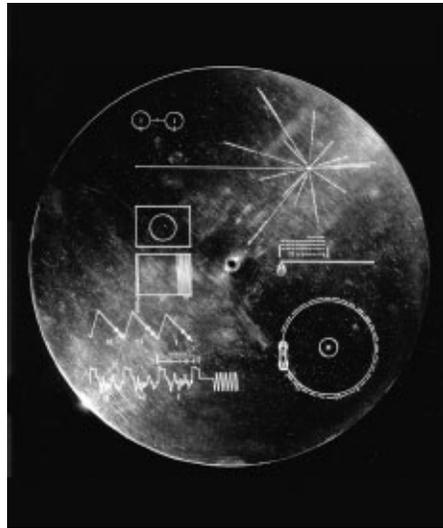
Un tipo diferente de mensaje sería el siguiente:



Incluso a simple vista esta secuencia de notas parece que no es aleatoria. Y resulta que el mensaje que representa ya está de camino por el espacio interplanetario, a quince mil millones de kilómetros de distancia de su punto de partida, en una pequeñísima fracción de la velocidad de la luz. El mensaje no está codificado en esta notación propia de la imprenta, ni en ninguna forma digital, sino como ondas microscópicas en un solo surco larguísimo que gira en una espiral grabada en un disco de treinta centímetros de diámetro y apenas dos milímetros de grosor. El disco podría haber sido de vinilo, pero en este caso es de cobre sobredorado. Este medio analógico de captar, preservar y reproducir el sonido fue inventado en 1877 por Thomas Edison, que lo llamó fonógrafo. Seguía siendo la tecnología de audio más popular un siglo después —aunque no sería así durante mucho más tiempo— y en 1977 un comité presidido por el astrónomo Carl Sagan creó un disco especial y guardó algunas copias en un par de naves espaciales llamadas *Voyager 1* y *Voyager 2*, cada una del tamaño de un automóvil pequeño, que fueron lanzadas ese verano desde Cabo Cañaveral, Florida.

Se trata, pues, de un mensaje en una botella interplanetaria. El mensaje no tiene ningún significado, aparte de sus patrones, lo que quiere decir que se trata de arte abstracto: el primer preludio del *Clave bien temperado* de Johann Sebastian Bach tocado al piano por Glenn Gould. De forma más general, quizá el mensaje sea: «Aquí hay vida inteligente». Aparte del preludio de Bach, el disco contiene muestras de música de varias culturas distintas y una selección de sonidos de la tierra: el viento, las olas, y el trueno; saludos pronunciados en veinticinco lenguas; las voces de grillos, ranas y ballenas; el cuerno de una oveja, el estrépito de una carreta tirada por caballos, y un tableteo en código

Morse. Junto con el disco hay un cartucho y una aguja, y un breve manual de instrucciones de carácter pictográfico. El comité no se molestó en incluir un fonógrafo ni una fuente de corriente eléctrica. Quizá los alienígenas encuentren la manera de convertir esos surcos metálicos analógicos en ondas del fluido que componga su atmósfera, sea el que sea, o en cualquier otra señal al alcance de sus sentidos extraterrestres.



El «disco dorado» enviado a bordo de la nave espacial Voyager.

¿Reconocerían la estructura del preludio de Bach, pongamos por caso, con su complicadísimo patrón, y la distinguirían del parloteo menos interesante, más aleatorio de los grillos? ¿Expresaría la partitura un mensaje más claro, puesto que, al fin y al cabo, las notas escritas contienen la esencia de la creación de Bach? Y, de forma más general, ¿qué tipo de conocimiento se necesitaría, al otro extremo de la línea —qué clase de libro de códigos—, para descifrar el mensaje? ¿Una apreciación del contrapunto y de la dirección de las voces? ¿Un sentido del contexto tonal y de las prácticas de la interpretación en el barroco europeo? Los sonidos —las notas— aparecen en grupos; forman figuras llamadas melodías; y obedecen a las normas de una gramática implícita. ¿Lleva consigo la música su propia lógica, independientemente de la geografía y la historia? Mientras tanto, en la tierra, al cabo de unos años, antes incluso de que las naves *Voyager* pasaran los límites del sistema solar, la música casi dejó de grabarse en forma analógica. Más valdría almacenar el sonido del *Clave bien temperado* en forma de bits: las formas de onda discretizadas sin pérdida, tal como el teorema de muestreo de

Shannon y la información las ha conservado en decenas de medios plausibles.

En términos de bits, un preludio de Bach puede parecer que no tiene mucha información. Tal como lo escribió Bach en dos páginas manuscritas, contiene seiscientas notas o caracteres de un pequeño alfabeto. Tal como lo ejecutó Glenn Gould al piano en 1964 —añadiendo las capas de matices y variaciones de las instrucciones elementales propias de todo intérprete— dura un minuto y treinta y seis segundos. El sonido de esa interpretación, grabado en CD, muescas microscópicas quemadas por un láser en un disco de policarbonato de plástico, comprende ciento treinta y cinco millones de bits. Pero este flujo de bits puede comprimirse considerablemente sin pérdida alguna de información. Por otra parte, el preludio cabe en un pequeño rollo de pianola (descendiente del telar de Jacquard y antecesora de la computación mediante tarjetas perforadas); codificado electrónicamente con el protocolo MIDI, necesita pocos millares de bits. Incluso el mensaje básico en seiscientos caracteres tiene una redundancia tremenda: un tempo que no varía, un timbre uniforme, solo un patrón melódico breve, una palabra, repetida una y otra vez con ligeras variaciones hasta el punto final. Como es bien sabido es engañosamente sencillo. La simple repetición crea expectativas y las frustra. Prácticamente no pasa nada y todo es una sorpresa. «Inmortales cuerdas rotas de armonías de una blancura radiante», dijo de él Wanda Landowska. Es simple, igual que un dibujo de Rembrandt es simple. Hace mucho con poco. ¿Es entonces rico en información? Algunas músicas podrían considerarse pobres en información. En un extremo tenemos la composición de John Cage titulada *4'33''*, que no contiene ninguna «nota» en absoluto: solo cuatro minutos y treinta y tres segundos de casi silencio, mientras la pieza absorbe los sonidos ambientales que rodean al pianista silencioso: el público moviéndose en sus asientos, el roce de las telas de los vestidos, respiraciones, suspiros...



¿Cuánta información hay en el *Preludio en Do mayor* de Bach? Como conjunto de patrones, en tiempo y en frecuencia, puede ser analizado, rastreado y comprendido, pero solo hasta cierto punto. En la música, como en la poesía, como en cualquier arte, se supone que la comprensión perfecta siempre se escapa. Si encontrara uno el fondo sería un aburrimiento.

En cierto modo, pues, el uso de unas dimensiones mínimas de programa para definir la complejidad parece un medio perfecto, el culmen de la teoría de la información de Shannon. Por otro lado, sigue resultando profundamente insatisfactorio. Y es así especialmente cuando se plantean las grandes cuestiones —cabría decir las cuestiones humanas— del arte, de la biología o de la inteligencia.

Según esta medida, en los dos extremos del espectro tendríamos un millón de ceros y un millón de lanzamientos de monedas al aire. La serie vacía es todo lo simple que puede ser, y la serie aleatoria supone el máximo de complejidad. Los ceros no expresan ninguna información; los lanzamientos de monedas al aire

producen la mayor información posible. Pero estos extremos tienen algo en común. Son aburridos. No tienen ningún valor. Si alguno de ellos fuera un mensaje proveniente de otra galaxia, no atribuiríamos inteligencia alguna a su remitente. Si fueran música, serían igualmente despreciables.

Todo lo que nos importa está en medio, allí donde patrón y aleatoriedad se mezclan.

Chaitin discutió a veces este asunto con un colega suyo, Charles H. Bennett, en el centro de investigación de IBM en Yorktown Heights, Nueva York. Con el paso de los años, Bennett desarrolló una nueva medida del valor que denominó la «profundidad lógica». La idea de profundidad de Bennett se relaciona con la complejidad, pero está en oposición a ella. Se supone que capta la utilidad de un mensaje, independientemente de lo que pudiera significar esa utilidad en cada terreno en concreto. «Desde los primeros días de la teoría de la información se ha tenido en cuenta que la información en sí no es una buena medida del valor del mensaje», escribía cuando finalmente publicó su planteamiento en 1988.

[12.38]

Una típica secuencia de lanzamientos de monedas al aire tiene un alto contenido en información, pero poco valor; un libro de efemérides, que da la posición de la luna y los planetas cada día a lo largo de cien años, no tiene más información que las ecuaciones de movimiento y de las condiciones iniciales a partir de las cuales se calcularon esas posiciones, pero ahorra a su propietario el esfuerzo de tener que calcularlas de nuevo.

La cantidad de trabajo que se tarda en computar una cosa ha sido pasada por alto —despreciada— casi siempre en toda la labor de teorización basada en las máquinas de Turing, que, al fin y al cabo, trabajan con mucha lentitud. Bennett volvió a poner la cuestión encima de la mesa. No hay profundidad lógica en las partes de un mensaje que son mera aleatoriedad e imprevisibilidad, y no hay profundidad lógica en la redundancia evidente, en la simple repetición y copia. Por el contrario, él proponía que el valor de un mensaje está en «lo que cabría llamar su redundancia soterrada, las partes previsibles solo con dificultad, las cosas que el destinatario habría podido figurarse en principio sin que nadie se las dijera, pero solo a costa de un gasto considerable de dinero, de tiempo o de computación». Cuando valoramos la complejidad de un objeto, o su contenido

de información, estamos notando que hay una computación que lleva oculta mucho tiempo. Podría ser así en el caso de la música o de un poema o de una teoría científica o de un crucigrama, que produce mucho placer al que lo resuelve cuando no es ni demasiado críptico ni demasiado superficial, sino una cosa intermedia.

Los cultivadores de las matemáticas y la lógica han desarrollado una tendencia a pensar que el procesamiento de la información es gratuito, no como tener que bombear agua o cargar piedras. En nuestros tiempos, es indudable que resulta barato. Pero al fin y al cabo representa trabajo, y Bennett sugiere que debemos reconocer ese trabajo, y contar los gastos que conlleva a la hora de entender la complejidad. «Cuanto más sutil es una cosa, más difícil resulta descubrirla», dice Bennett. Él aplicó la idea de la profundidad lógica al problema de la auto-organización: la cuestión de cómo se desarrollan en la naturaleza las estructuras complejas. La evolución comienza con unas condiciones iniciales simples; la complejidad surge edificándose aparentemente sobre sí misma. Independientemente de cuáles sean los procesos básicos —físicos o biológicos— que comporte, está en marcha algo que empieza a parecerse a la computación.

LA INFORMACIÓN ES FÍSICA

(«*It from Bit*»)

Cuanta más energía, más rápido se mueven los bits. Al final, tierra, aire, fuego y agua están hechos de energía, pero las diferentes formas que adoptan vienen determinadas por la información. Hacer algo requiere energía. Especificar lo que se hace requiere información. ^[13.1]

SETH LLOYD (2006)

La mecánica cuántica ha tenido que capear, en su corta historia, más crisis, más controversias, más interpretaciones (la de Copenhague, la de Bohm, la de los universos múltiples, la de las muchas mentes), más implosiones entre distintas facciones y más manifestaciones de arrepentimiento filosóficas en general que cualquier otra ciencia. Está plagada de misterios. Alegremente, ignora la intuición humana. Albert Einstein murió sin haberse reconciliado con sus consecuencias, y Richard Feynman no bromeaba cuando dijo que nadie la entendía. Tal vez haya que ofrecer argumentos acerca de la naturaleza de la realidad; la física cuántica, que excepcionalmente tanto éxito ha tenido en la práctica, trata, en teoría, de los fundamentos de todas las cosas, y sus propios fundamentos son objeto de continuas reconstrucciones. Aun así, a veces el fermento parece más religioso que científico.

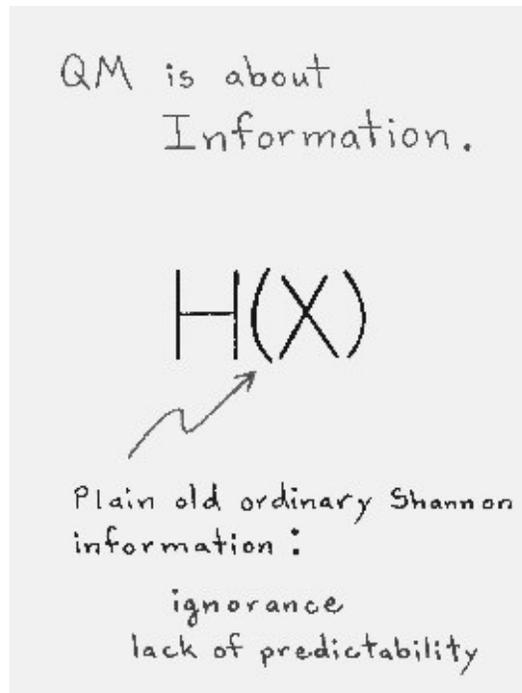
«¿Cómo se produjo todo esto?», pregunta Christopher Fuchs, un teórico de la cuántica que trabajó en los Laboratorios Bell y más tarde en el Perimeter Institute de Canadá.

Si vas a una de esas reuniones, te darás cuenta de que es como estar en medio de un gran tumulto en una ciudad santa. Verás todo tipo de religiones con todos sus sacerdotes enfrentados en una guerra santa: los bohmianos, los historiadores consistentes, los transaccionalistas, los teóricos del colapso objetivo, los einseleccionistas, los objetivistas contextuales, los everetticos acérrimos y otros muchos más. Todos ellos afirman que ven la luz, la luz final. Todos nos aseguran que si aceptamos su solución como nuestra salvación, también nosotros veremos la luz. ^[13.2]

Ha llegado la hora, dice, de comenzar de nuevo. Dejemos a un lado los axiomas cuánticos existentes, por exquisitos y matemáticos que sean, y volvamos a los principios físicos más profundos. «Esos principios deberían ser vivificantes; deberían ser convincentes. Deberían ser inspiradores». ¿Y dónde hay que buscar estos principios físicos? Fuchs da la respuesta a su pregunta: en la teoría cuántica de la *información*.

«La razón es bien sencilla, y creo que evidente», dice. «La mecánica cuántica siempre ha estado relacionada con la información; lo que ocurre es que la comunidad física simplemente se ha olvidado de ello.» ^[13.3]

Uno que no lo había olvidado —o que lo redescubrió— era John Archibald Wheeler, pionero en el campo de la fisión nuclear, alumno de Bohr y profesor de Feynman, el último gigante de la física del siglo XX y a quien debemos el término «agujero negro». A Wheeler le encantaban los epigramas y las expresiones gnómicas. *Un agujero negro no tiene pelo* era su célebre manera de afirmar que nada, excepto masa, carga y espín, puede ser percibido desde el exterior. «Nos enseña», decía, «que el espacio puede estrujarse como un pedazo de papel hasta quedar reducido a un punto infinitesimal, que el tiempo puede extinguirse como una llama que se apaga de un soplo, y que las leyes de la física que consideramos “sagradas”, inmutables, no son más que eso.» ^[13.4] En 1989 nos ofreció su última frase célebre: «*It from Bit*». Su visión era extrema. Era inmaterialista: primero la información, luego todo lo demás. «En otras palabras», decía, «cada *it*, esto es, cada partícula, cada campo de fuerza, incluso el propio continuum espacio-tiempo, deriva su función, su significado, su mismísima existencia [...] de los *bits*». ^[13.5]



Esquema utilizado por Christopher Fuchs.

¿Por qué la naturaleza aparece cuantizada? Porque la información está cuantizada. El bit es la última partícula indivisible.

Entre los fenómenos físicos que ponían la información en un primer plano, ninguno era tan espectacular como los agujeros negros. Al principio, por supuesto, parecía que no tenían nada que ver con la información.

Los agujeros negros fueron fruto de la inspiración de Einstein, aunque él no pudiera vivir lo suficiente para saber de ellos. En 1915 el célebre físico estableció que la luz debe someterse a la atracción de la gravedad; que la gravedad marca una curvatura en el espacio-tiempo; y que una masa suficiente, perfectamente compacta, como ocurre en una estrella densa, al final se colapsaría, intensificando su propia gravedad y contrayéndose sin cesar. Tendrían que pasar al menos cincuenta años más para enfrentarse a las consecuencias, pues son sumamente curiosas. Todo entra, nada sale. En el centro está la singularidad. La densidad se hace infinita; la gravedad se hace infinita; el espacio-tiempo se curva infinitamente. Tiempo y espacio se alternan. Pues ninguna luz, ninguna señal de ningún tipo, puede escapar del interior, esas cosas

son característicamente invisibles. Wheeler empezó a llamarlas «agujeros negros» en 1967. Los astrónomos están convencidos de haber encontrado algunos, por inferencia gravitacional, y nadie puede saber nunca lo que hay en su interior.

Al principio, los astrofísicos se centraron en la materia y la energía que caían dentro de ellos. Más tarde comenzaron a interesarse por la información. Surgió un problema cuando Stephen Hawking, tras añadir efectos cuánticos a los cálculos habituales de la relatividad general, declaró en 1974 que, al fin y al cabo, los agujeros negros debían radiar partículas (una consecuencia de las fluctuaciones cuánticas que se producen en las zonas cercanas al horizonte de sucesos).^[13.6] En otras palabras, los agujeros negros se evaporan lentamente. El problema era que la radiación de la que hablaba Hawking es muy poco activa y apenas perceptible. Es una radiación térmica, de calor. Pero la materia que *cae* en un agujero negro lleva información, en su propia estructura, en su organización, en sus estados cuánticos (en términos de mecánica estadística, en sus microestados accesibles). Mientras la información que faltaba permaneciera lejos del alcance del agujero negro, más allá del horizonte de sucesos, los físicos no tenían por qué preocuparse. Podían decir que era inaccesible, pero no que hubiera sido eliminada. Como dijo sir Francis Bacon en 1625: «Todos los colores estarán de acuerdo en la oscuridad».

Sin embargo, la radiación hacia el exterior de la que habla Hawking no lleva información. Si el agujero negro se evapora, ¿adónde va la información? Según la mecánica cuántica, es probable que la información no se destruya nunca. Las leyes deterministas de la física requieren los estados de un sistema físico en un momento preciso para determinar los estados en el siguiente momento; observando detalladamente a través del microscopio, las leyes son reversibles, y la información debe conservarse. Hawking fue el primero en afirmar con rotundidad —incluso con alarmismo— que ese era un problema que ponía en tela de juicio los mismísimos cimientos de la mecánica cuántica. La pérdida de información violaría la unitariedad, el principio según el cual la suma de todas las probabilidades es siempre uno. «Dios no solo juega a los dados. A veces lanza los dados a un lugar en el que no pueden ser vistos», dijo Hawking. En el verano de 1975, entregó a *Physical Review* un estudio con un título muy preocupante, «The Breakdown of Physics in Gravitational Collapse». La revista

lo guardó en un cajón durante más de un año antes de decirse a publicarlo con un título mucho menos dramático.^[13.7]

Como esperaba Hawking, otros físicos rechazaron vehementemente sus planteamientos. Entre ellos figuraba John Preskill, del Instituto de Tecnología de California, que seguía creyendo en el principio que afirmaba que la información no podía perderse: incluso cuando un libro es pasto de las llamas, si se sigue el rastro de cada fotón y de cada fragmento de ceniza, en términos de los físicos debería poderse reconstruir el libro en cuestión. «La pérdida de información es sumamente infecciosa», advirtió Preskill en un seminario de teoría del Caltech [*California Institute of Technology*, esto es, Instituto de Tecnología de California]. «Es muy difícil modificar la teoría cuántica para que se ajuste a una ligera pérdida de información sin que ello afecte a todos los procesos.»^[13.8] En 1997 hizo una apuesta con Hawking de la que se hicieron eco numerosos medios. De alguna manera, afirmaba Preskill, la información lograba escapar al agujero negro. Se jugaron una enciclopedia, la que eligiera el ganador. «Algunos físicos consideran que lo que ocurre en un agujero negro es una cuestión académica e incluso teológica, como contar ángeles en cabezas de alfiler», dijo Leonard Susskind de Stanford, poniéndose del lado de Preskill. «Pero no es así, en absoluto: en juego están las futuras leyes de la física.»^[13.9] Durante los años siguientes se propuso un sinnúmero de soluciones. Llegado un punto, el propio Hawking dijo: «Creo que es probable que la información pase a otro universo. Todavía no he podido demostrarlo matemáticamente».^[13.10]

No sería hasta 2004 cuando Hawking, que ya tenía sesenta y dos años, se dio por vencido y reconoció haber perdido la apuesta. Anunció que había encontrado la manera de demostrar que la gravedad cuántica es, al fin y al cabo, unitaria y que la información se conserva. Recurrió a un formalismo de la indeterminación cuántica —la integral de caminos de la «suma sobre historias» de Richard Feynman— para aplicarlo a la mismísima topología del espacio-tiempo, y declaró, en efecto, que los agujeros negros no son nunca inequívocamente negros. «La confusión y la paradoja surgieron porque la gente pensaba clásicamente en términos de una sola topología para el espacio-tiempo», escribió.^(13.i) Su nueva formulación sorprendió a algunos físicos por su falta de claridad, y dejaba sin responder muchas cuestiones, pero Hawkins se mantenía firme en un punto. «No hay ningún pequeño universo que se separe, como creí

una vez», escribió. «La información permanece firmemente en nuestro universo. Siento decepcionar a los amantes de la ciencia ficción.»^[13.11] Entregó a Preskill una copia de *Total Baseball: The Ultimate Baseball Encyclopedia*, de un total de 2.688 páginas, «de la que puede recuperarse información con facilidad», dijo. «Aunque tal vez habría tenido que entregarle simplemente las cenizas».

Charles Bennett llegó a la teoría cuántica de la información siguiendo un camino muy distinto. Mucho antes de desarrollar su idea de la profundidad lógica, había estado reflexionando acerca de la «termodinámica de la computación»,^[13.12] un tema peculiar, pues el procesamiento de la información se consideraba generalmente incorpóreo. «La termodinámica de la computación, si alguien se hubiera detenido a pensarlo, probablemente no habría parecido un tema que requería una explicación científica con tanta urgencia como, por ejemplo, la termodinámica del amor», dice Bennett. Es como la energía del pensamiento. Tal vez se consuman calorías, pero nadie las cuenta.

Pese a ser todavía poco conocedor del tema, Bennett intentó investigar la termodinámica del computador menos termodinámico de todos, la inexistente, abstracta e idealizada máquina de Turing. El propio Turing nunca se interesó en si su experimento mental consumía o no energía, o radiaba o no calor, cuando hacía su función de recorrer en uno y otro sentido unas cintas de papel imaginarias. Sin embargo, a comienzos de la década de los ochenta, Bennett hablaba de utilizar las cintas de la máquina de Turing como combustible, y de que su contenido calórico debía medirse en bits. Seguía siendo, por supuesto, un experimento mental concebido para centrarse en una cuestión muy real: ¿cuál es el coste físico del trabajo lógico? «Las computadoras», escribió con intención de provocar, «tal vez deban ser consideradas motores para la transformación de energía libre en calor residual y trabajo matemático».^[13.13] La entropía volvía a entrar en escena. Una cinta llena de ceros, o una cinta que codificara las obras de Shakespeare, o una cinta que recitara los dígitos del número π , tendrían un «valor de combustible». Una cita que no siguiera un determinado plan o sistema, no.

Bennett, hijo de dos profesores de música, se crió en un barrio de Westchester, en Nueva York; estudió química en Brandeis y luego en Harvard

en la década de los sesenta. Por aquel entonces, James Watson estaba en Harvard impartiendo clases de codificación genética, y Bennett trabajó a sus órdenes durante un año en calidad de profesor auxiliar. Obtuvo su doctorado en dinámica molecular, llevando a cabo por la noche simulaciones por computadora en una máquina con una memoria de aproximadamente veinte mil dígitos decimales que daba sus resultados en hojas y hojas de papel continuo. La necesidad de disponer de una mayor potencia de cálculo para poder seguir con sus investigaciones sobre el movimiento molecular lo llevó al Laboratorio Lawrence Livermore de Berkeley, en California, y al Laboratorio Nacional Argonne de Illinois; más tarde, en 1972, entró a trabajar en el departamento de investigaciones de IBM.

IBM no fabricaba, por supuesto, máquinas de Turing. Pero un día, de repente, Bennett se dio cuenta de que ya había sido descubierta en la naturaleza una máquina de Turing con un objetivo determinado: la ARN polimerasa. Sus conocimientos sobre polimerasas los había obtenido directamente de Watson; la polimerasa es la enzima que pasa gateando por el gen —su «cinta»— transcribiendo el ADN. Deja su impronta a la derecha y a la izquierda; su estado lógico cambia de acuerdo con la información química que va escribiendo en secuencias; y su comportamiento termodinámico puede medirse.

En el mundo real de la computación de los años setenta, el hardware había evolucionado para convertirse en un elemento miles de veces más eficaz y potente que sus predecesores de los tiempos de los tubos de vacío. No obstante, los computadores electrónicos disipan una energía considerable en forma de calor residual. Cuanto más se acercan a su mínimo teórico de consumo de energía, más urgente y necesario resulta para los científicos conocer precisamente cuál es ese mínimo teórico. Von Neumann, mientras trabajaba con sus grandes computadoras, realizó ya en 1949 una estimación de Fermi, proponiendo una cantidad de calor que debía ser disipada «por acto elemental de información, esto es, por decisión elemental de una alternativa de dos posibilidades y por transmisión elemental de una unidad de información».^[13.14] Se basó en el trabajo molecular realizado en un modelo de sistema termodinámico por el demonio de Maxwell, como lo había re-imaginado Leó Szilárd.^(13.ii) Von Neumann dijo que el precio lo paga cada uno de los actos elementales del procesamiento de información, cada elección entre dos alternativas posibles. En la década de los setenta esta idea disfrutaba de la

aceptación general. Pero era una idea equivocada.

El error de von Neumann fue descubierto por el científico que se convertiría en mentor de Bennett en IBM, Rolf Landauer, un exiliado de la Alemania nazi. [13.15] Landauer dedicó su carrera a establecer las bases físicas de la información. «La información es física» fue el título de un famoso estudio, concebido para recordar a la comunidad que la computación requiere objetos físicos y obedece a las leyes de la física. Para que nadie lo olvidara, puso a un ensayo posterior —el que sería su último trabajo— el siguiente título: «La información es inevitablemente física». Tanto si era una marca en una tablilla de madera, como un agujero en una tarjeta perforada o una partícula con espín arriba y abajo, un bit, insistía Landauer, no podía existir sin *algún tipo* de representación. En 1961 Landauer intentó demostrar la fórmula del coste del procesamiento de información elaborada por Von Neumann, pero se dio cuenta de que le era imposible. Al contrario, le pareció que las operaciones más lógicas no tienen ningún gasto de entropía. Cuando un bit pasa de cero a uno, o viceversa, la información se conserva. El proceso es reversible. La entropía no varía; no hay necesidad de disipar calor. Solo una operación irreversible, señalaba, aumenta la entropía.

Landauer y Bennett formaban un curioso dúo: uno era el clásico hombre mayor de IBM, serio y formal, y el otro un joven algo desaliñado, con aspecto de hippy (al menos así lo veía Bennett). [13.16] Bennett siguió el principio de Landauer, analizando todos los tipos de computadores imaginables, reales y abstractos, desde las máquinas de Turing y el ARN mensajero hasta los computadores «balísticos», que transportaban señales a través de unas cosas parecidas a bolas de billar. Confirmó que podía llevarse a cabo muchísima computación sin coste energético alguno. En todos los casos Bennett observó que la disipación de calor se produce solamente cuando *se borra* información. Borrar información es la operación lógica irreversible. Cuando el cabezal de una máquina de Turing borra una celda de la cinta, o cuando un computador electrónico «limpia» un condensador, se pierde un bit, y luego se disipa calor. En el experimento mental de Szilárd, el demonio no incurre en un gasto de entropía cuando observa o elige una molécula. La recompensa llega en el momento de limpiar el historial, cuando el demonio borra una observación con el fin de dejar espacio para la siguiente. Olvidar supone trabajo.

«Podría decirse que es la manera que tiene la teoría de la información de vengarse de la mecánica cuántica», dice Bennett.^[13.17] A veces, una idea que resulta sumamente reveladora en un campo puede representar, en otro, un obstáculo para progresar. En este caso, la idea brillante era el principio de incertidumbre, que ponía de relieve el papel fundamental desempeñado por el propio proceso de medición. Ya no puede hablarse simplemente de «observar» una molécula; el observador tiene que utilizar fotones, y los fotones deben ser más energéticos que el entorno térmico, y surgen complicaciones. En mecánica cuántica, el acto de observar tiene sus propias consecuencias, ya sea cuando lo realiza un científico de laboratorio o cuando lo lleva a cabo el demonio de Maxwell. La naturaleza es sensible a nuestros experimentos.

«La teoría cuántica de la radiación contribuyó a que se llegara a la conclusión equivocada de que computar tiene un coste termodinámico irreducible por cada paso que se da», cuenta Bennett. «En el otro caso, el éxito de la teoría del procesamiento de la información de Shannon hizo que la gente ignorara toda la física presente en el procesamiento de información y lo considerara una cuestión totalmente matemática». A medida que los ingenieros de telecomunicaciones y los diseñadores de chips iban aproximándose cada vez más a unos niveles atómicos, comenzaron a preocuparse por las limitaciones cuánticas que interferían con su habilidad típica para distinguir claramente los estados cero y uno. Pero volvieron a tener en cuenta esas consideraciones, lo que al final marcó el nacimiento de la ciencia de la información cuántica. Bennett y otros empezaron a pensar de manera distinta: que los efectos cuánticos, en vez de suponer un problema, podrían convertirse en algo útil.

En el laboratorio de investigaciones de IBM, en las boscosas colinas de Westchester, junto a una pared, había una especie de caja oscura, parecida a un arcón de novia, a la que llamaban Tía Marta (forma abreviada de «ataúd de Tía Marta»). Bennett y su ayudante, John Smolin, lo improvisaron en 1988 y 1989 con una pequeña ayuda del taller mecánico: una caja de aluminio pintada de negro por dentro y sellada con tapones de caucho y terciopelo negro.^[13.18] Con un láser HeNe, esto es, de helio-neón, para crear secuencias de fotones polarizados por células de alto voltaje, los dos científicos enviaron el primer mensaje codificado con criptografía cuántica. Fue una demostración de una labor

de procesamiento de información que solamente podía llevarse a cabo con eficacia mediante un sistema cuántico. Poco después se desarrollarían la corrección de errores cuánticos, la teleportación cuántica y la computación cuántica.

El mensaje cuántico se transmitió entre Alice y Bob, una pareja mítica omnipresente en este tipo de protocolos. Alice y Bob habían dado sus primeros pasos en el mundo de la criptografía, pero los científicos cuánticos se apropiaron de ellos. En ocasiones se les uniría una tercera figura, Charlie. Alice y Bob están entrando constantemente en cuartos distintos, cambiando de lugar, y enviándose sobres cerrados. Eligen estados y realizan rotaciones como las de las matrices de Pauli. «Decimos cosas como “Alice envía a Bob un qubit y se olvida de ello”, “Bob lleva a cabo una medición y se lo dice a Alice”», explica Barbara Terhal, colega de Bennett y una de las teóricas de la información cuántica de la generación posterior.^[13.19] La propia Terhal se ha dedicado a investigar si Alice y Bob son *monógamos* (otra expresión, por supuesto, típica de la terminología técnica).

En el experimento del ataúd de Tía Marta, Alice envía información a Bob; una información codificada para que una malévola tercera persona no pueda entenderla (Eve, la fisgona). Si Alice y Bob conocen su código secreto, Bob podrá descifrar el mensaje. Pero, ¿cómo puede Alice hacer llegar a Bob dicho código secreto? Bennett y Gilles Brassard, un especialista de Montreal en ciencias de la computación, empezaron por codificar cada bit de información como un único objeto cuántico, como, por ejemplo, un fotón. La información se encuentra en los estados cuánticos del fotón (por ejemplo, en su polarización horizontal o vertical). Si bien en física clásica un objeto, compuesto invariablemente de miles de millones de partícula, puede ser interceptado, monitorizado, observado y transmitido, todo esto no es posible llevarlo a cabo con un objeto cuántico. Tampoco es posible copiarlo o clonarlo. El acto de observar altera inevitablemente el mensaje. Por mucho cuidado que pongan, los fisgones pueden ser detectados. Siguiendo un intrincado y complejo protocolo elaborado por Bennett y Brassard, Alice genera una secuencia de bits aleatorios para utilizarla como clave secreta, y Bob es capaz de establecer una secuencia idéntica desde el otro extremo de la línea de comunicación.^[13.20]

Los primeros experimentos realizados con el ataúd de Tía Marta

consiguieron enviar bits cuánticos a través de treinta y dos centímetros de aire libre. No era *Sr. Watson, venga aquí, quiero verle*, pero se trataba de un primer paso en la historia de la criptografía: una clave criptográfica absolutamente indescifrable. Los experimentos posteriores ya se realizaron con la ayuda de fibra óptica. Bennett, por su parte, comenzó a adentrarse en el mundo de la teleportación cuántica.

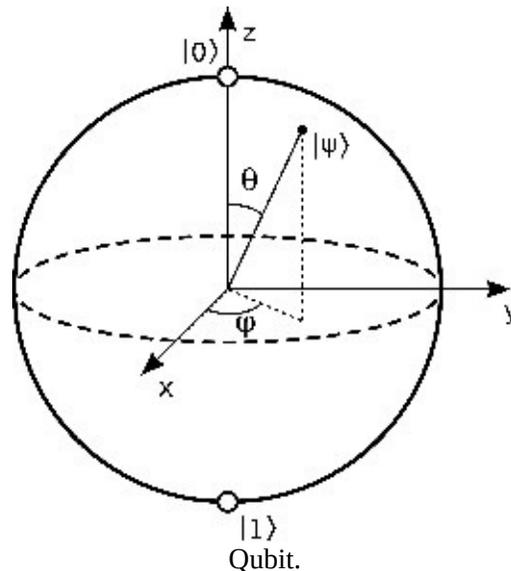
No tardaría en lamentar este término, cuando el departamento de marketing de IBM presentó su trabajo en un anuncio con la siguiente frase: «Quédate aquí: te teleportaré un poco de gulasch».^[13.21] Pero el nombre sorprendió, porque la teleportación funcionaba. Alice no envía gulasch; envía qubits.^(13.22)

El qubit es el sistema cuántico no trivial más pequeño. Como el clásico bit, un qubit tiene dos valores posibles, cero y uno, o sea, dos estados que pueden distinguirse con seguridad. En un sistema clásico, *todos* los estados son distinguibles en principio. (Si no puede diferenciarse un color de otro, simplemente es porque se dispone de un aparato de medición imperfecto). Pero en un sistema cuántico, la distinguibilidad imperfecta está por todas partes, gracias al principio de la incertidumbre de Heisenberg. Cuando se mide una propiedad de un objeto cuántico, se pierde la capacidad de medir una propiedad complementaria. Puede averiguarse el momento de una partícula o su posición, pero no ambas cosas. Otras propiedades complementarias son la dirección del espín y, como en el caso del ataúd de Tía Marta, la polarización. Los físicos piensan en estos estados cuánticos de una manera geométrica: los estados de un sistema que se corresponden con las direcciones en el espacio (un espacio de muchas dimensiones posibles), y cuya distinguibilidad depende de la perpendicularidad (u «ortogonalidad») de dichas direcciones.

Esta distinguibilidad imperfecta es la que da a la física cuántica su carácter de ensueño: la imposibilidad de observar unos sistemas sin interferir en ellos; la imposibilidad de clonar objetos cuánticos o de transmitirlos a muchos oyentes. El qubit también tiene este carácter de ensueño. No se trata simplemente de «tanto esto como aquello». Sus valores 0 y 1 están representados por unos estados cuánticos que pueden distinguirse con claridad —por ejemplo, las polarizaciones horizontales y verticales—, pero con los que coexiste todo un continuum de estados intermedios, como, por ejemplo, las polarizaciones diagonales, que se inclinan por 0 o por 1 con distintas probabilidades. De modo

que un físico dice que un qubit es una *superposición* de estados; una combinación de amplitudes de probabilidad. Es una cosa determinada con una nube de indeterminancias en su interior. Pero el qubit no es un batiburrillo; una superposición no es una mezcla, sino una combinación de elementos probabilísticos según unas normas matemáticas claras y precisas.

«Un conjunto no aleatorio puede tener partes aleatorias», dice Bennett. «Esta es la parte más “contraintuitiva” de la mecánica cuántica, aunque, por lo que sabemos, surja del principio de superposición y sea la manera en la que funciona la naturaleza. Al principio, es posible que no sea del agrado de nadie, pero después de un tiempo te acostumbras a ella, y las alternativas que hay son mucho peores».



La base de la teleportación y de buena parte de la ciencia de la información cuántica surgidas más tarde es el fenómeno llamado entrelazamiento. El entrelazamiento parte del principio de superposición y lo extiende a través del espacio, a una pareja de qubits muy distantes el uno del otro. Tienen un estado definido *como una pareja*, aun cuando ni uno ni otro tienen un estado medible por sí solo. Antes de poder descubrirlo, el entrelazamiento tuvo que ser inventado, en este caso por Einstein. Luego tuvo que recibir un nombre, y no se lo dio Einstein, sino Schrödinger. Einstein lo inventó para un experimento mental concebido para ilustrar lo que consideraba fallos de la mecánica cuántica

como esta era entendida en 1935. Propuesto el experimento en un famoso estudio publicado conjuntamente con Boris Podolsky y Nathan Rosen, titulado «¿Puede considerarse completa la descripción mecánico-cuántica de la realidad física?». [13.23] En parte debió su fama por incitar a Wolfgang Pauli a escribir el siguiente comentario a Werner Heisenberg: «Una vez más, Einstein ha expresado públicamente sus ideas sobre la mecánica cuántica [...] Como todos bien sabemos, cada vez que esto ocurre se produce una catástrofe». [13.24] El experimento mental imaginaba dos partículas correlacionadas de una manera especial, como, por ejemplo, cuando un solo átomo emite un par de fotones. Su polarización es aleatoria, pero idéntica (ahora y todo el tiempo que duren).

Einstein, Podolsky y Rosen investigaron qué ocurriría si los fotones se encontraran muy lejos el uno del otro, y se llevara a cabo una medición en uno de ellos. En el caso de partículas entrelazadas (la pareja de fotones, creados juntos, y que en ese momento están separados por años luz de distancia), parece que la medición efectuada en uno de ellos tiene un efecto en el otro. En el momento en que Alice mide la polarización vertical de su fotón, el fotón de Bob también tendrá un estado de polarización definido en ese eje, mientras que su polarización diagonal será indefinida. Así pues, la medición genera una influencia que aparentemente viaja más rápido que la luz. Para Einstein era una paradoja sumamente inquietante. «Lo que realmente existe en B no puede depender del tipo de medición que se efectúe en el espacio A», escribió. [13.25] El estudio concluía rotunda y severamente: «No puede esperarse que ninguna definición razonable de la realidad permita esto». Le dio el indeleble nombre de *spukhafte Fernwirkung*, «fantasmagórico efecto a distancia».

En 2003 el físico israelí Asher Peres propuso una respuesta a la llamada «paradoja EPR», esto es, de Einstein-Podolsky-Rosen. Las conclusiones a las que llegaba el estudio no eran exactamente erróneas, decía, pero habían sido escritas demasiado pronto: antes de que Shannon publicara su teoría de la información, «y tuvieron que pasar muchos años antes de que esta fuera incluida en la caja de herramientas del físico». [13.26] La información es física. Es inútil hablar de estados cuánticos sin considerar la *información* de los estados cuánticos.

La información no es un mero concepto abstracto. Requiere un portador físico,

y este último está (más o menos) localizado. Al fin y al cabo, era la función de la Compañía Telefónica Bell transportar información de un teléfono a otro teléfono situado en un lugar distinto.

[...] Cuando Alice mide su espín, la información que obtiene está localizada en su posición, y se quedará allí hasta que ella decida transmitirla. No ocurre absolutamente nada en el lugar en el que se encuentra Bob [...] Solo si Alice informa a Bob del resultado que ha obtenido (por correo, teléfono, radio o a través de cualquier otro portador material, que naturalmente se halla restringido a la velocidad de la luz), Bob podrá darse cuenta de que su partícula tiene un estado puro definido.

Por esta razón, Christopher Fuchs sostiene que es inútil hablar de estados cuánticos. El estado cuántico es un constructo del observador (del que surgen numerosos problemas). Salir de estados; entrar en información. «La terminología puede decirlo todo: alguien que practique este campo, aunque nunca haya pensado ni por un minuto en fundamentos cuánticos, es probable que diga tanto “información cuántica” como “estado cuántico”[...] ¿Qué función cumple el protocolo de la teleportación cuántica? En la actualidad, una respuesta perfectamente estándar sería: “Traslada información cuántica desde la posición de Alice hasta la de Bob”. Lo que tenemos aquí es un cambio de mentalidad.»^[13.27]

La paradoja del fantasmagórico efecto a distancia aún no ha sido resuelta. Se ha demostrado la *no localidad* en una serie de inteligentes experimentos, basados todos ellos en el experimento mental de la paradoja EPR. El entrelazamiento resulta que es un fenómeno no solo real, sino también omnipresente. La pareja de átomos de una molécula de hidrógeno, H₂, está cuánticamente entrelazada («*verschränkt*», como decía Schrödinger). Bennett puso a trabajar el entrelazamiento en la teleportación cuántica, y presentó públicamente sus resultados por primera vez en 1993.^[13.28] La teleportación utiliza una pareja entrelazada para proyectar información cuántica desde una tercera partícula a través de una distancia arbitraria. Alice no puede medir directamente esta tercera partícula; en lugar de ello, mide algo que tiene que ver con su relación con una de las partículas entrelazadas. Aunque la propia Alice siga sin saber nada de la original, debido al principio de la incertidumbre, Bob consigue recibir una réplica exacta. El objeto de Alice acaba siendo incorpóreo en el proceso. La

comunicación no es más rápida que la luz, porque Alice también tiene que enviar a Bob un mensaje clásico (no cuántico) adicional. «El resultado neto de la teleportación es completamente prosaico: la desaparición de [el objeto cuántico] de las manos de Alice, y su aparición en las de Bob al cabo de un tiempo apropiado», escribieron Bennett y sus colegas. «La única característica destacable es que, en el ínterin, la información ha sido claramente dividida en partes clásicas y no clásicas».

Los investigadores enseguida comenzaron a imaginar numerosas aplicaciones, como, por ejemplo, la transferencia de información volátil a un lugar seguro de almacenamiento, o memoria. Con o sin gulasch, la teleportación entusiasmaba, pues abría nuevas posibilidades en un campo que era muy real, pero que seguía pareciendo un sueño difícil de materializar, la computación cuántica.

La idea de una computadora cuántica es extraña. Richard Feynman eligió la extrañeza como punto de partida en 1981, durante una conferencia en el MIT, cuando analizó por primera vez la posibilidad de utilizar un sistema cuántico para computar problemas cuánticos difíciles. Empezó con una digresión supuestamente maliciosa: «¡Secreto! ¡Secreto! Cerrad las puertas...».

Siempre hemos tenido muchísimas dificultades para entender la visión del mundo que representa la mecánica cuántica. Al menos yo las he tenido, pues ya soy lo bastante viejo [tenía sesenta y dos años] como para no haber llegado al punto de que esta cosa sea evidente para mí. De acuerdo, me sigue poniendo nervioso [...] Todavía no es evidente para mí que no hay ningún problema real. No puedo definir el problema real, de modo que sospecho que no hay ningún problema real, pero no estoy seguro de que no haya un problema real.^[13.29]

Sabía perfectamente bien qué problema había con la computación, con la simulación de la física cuántica en una computadora. El problema se llamaba probabilidad. Todas las variables cuánticas suponían unas probabilidades, y esto hacía que las dificultades de la computación aumentaran exponencialmente. «El número de bits de información es el mismo que el de puntos en el espacio, y por lo tanto hay que tener descrito algo parecido a unas configuraciones N^N para

obtener la probabilidad, y esta es una tarea demasiado ardua para nuestra computadora [...] Por lo tanto, de acuerdo con las normas citadas, resulta imposible llevar a cabo una simulación calculando la probabilidad».

De modo que propuso combatir el fuego con fuego. «La otra manera de simular una Naturaleza probabilística, a la que llamaré *N* por ahora, quizá siga siendo simular la Naturaleza probabilística con una computadora *C* que sea a su vez probabilística». Una computadora cuántica no sería una máquina de Turing, decía. Sería algo completamente nuevo.

«El planteamiento de Feynman», comenta Bennett, «era que un sistema cuántico está, en un sentido, computando su propio futuro todo el tiempo. Podría decirse que se trata de una computadora analógica de su propia dinámica».^[13.30] Los investigadores no tardaron en darse cuenta de que si una computadora cuántica tenía una capacidad especial para eliminar algunos problemas en la simulación de sistemas físicos, probablemente también fuera capaz de resolver otro tipo de problemas que las computadoras corrientes no podían solucionar.

La capacidad procede de ese objeto intocable de luz intermitente, el qubit. Las probabilidades son parte integral. Puesto que encarna una superposición de estados, el qubit tiene más capacidades que el clásico bit, cuyo estado es siempre o cero o uno, «un espécimen bastante miserable de un vector bidimensional», como dice David Mermin.^[13.31] «Cuando aprendimos a contar con nuestros pegajosos dedillos clásicos, incurrimos en un error», afirmaba Rolf Landauer con rotundidad. «Creímos que un número entero debía tener un valor particular y único». Pero no es así, no en el mundo real, que es como decir en el mundo cuántico.

En la computación cuántica hay una multiplicidad de qubits que están entrelazados. El hecho de poner los qubits a trabajar juntos no multiplica simplemente su capacidad; la capacidad aumenta exponencialmente. En la computación clásica, en la que el bit es o esto o lo otro, n bits pueden codificar cualquiera de los valores 2^n . Los qubits pueden codificar estos valores booleanos junto con todas sus superposiciones posibles. Esto permite que una computadora cuántica tenga un potencial para efectuar procesos paralelos del que no dispone su equivalente clásico. Por lo que, en teoría, las computadoras cuánticas pueden resolver cierta clase de problemas que, de otra manera, habrían sido considerados imposibles desde el punto de vista computacional.

Por ejemplo, hallar los factores primos de números muy grandes es la clave para romper los algoritmos criptográficos más utilizados en la actualidad, en particular el cifrado RSA.^[13.32] El comercio de Internet mundial depende de ello. En efecto, el número muy grande es una clave pública utilizada para codificar un mensaje; si los fisgones logran deducir sus factores primos (grandes también), podrán descifrar el mensaje. Pero si multiplicar un par de números primos grandes es fácil, lo contrario resulta sumamente difícil. El procedimiento es una vía de información en un único sentido. Por lo que la factorización de números RSA ha sido uno de los desafíos permanentes para la computación clásica. En diciembre de 2009 un equipo distribuido entre las ciudades de Lausana, Ámsterdam, Tokio, París, Bonn y Redmond (Washington) utilizó varios centenares de máquinas funcionando durante casi dos años para descubrir que

1230186684530117755130494		95838496272077285356959533479
21973224521517264005072636		57518745202199786469389956474
94277406384592519255732630		3453731548268507917026122142
913461670429214311602221240		4792747377940806653514
19597459856902143413	es	el producto de
3347807169895689878604416984821		269081770479498371376856
8912431388982883793878002287	614711652531743087737814467	999489 y
367460436667995904282446337996279526322791581643		
4308764267603228381573966651127		923337341714339681027009

2798736308917. Según sus cálculos, la computación utilizó más de 10^{20} operaciones.^[13.33]

Se trataba de uno de los números RSA más pequeños, pero, de haber llegado antes la solución, el equipo habría podido ganar un premio de cincuenta mil dólares ofrecido por los Laboratorios RSA. En lo concerniente a la computación clásica, este tipo de codificación está considerado bastante seguro. Los números más grandes tardan exponencialmente más tiempo, y en un punto determinado el tiempo excede la edad del universo.

La computación cuántica es otra cosa. La capacidad de una computadora cuántica de ocupar muchos estados a la vez abre nuevos horizontes. En 1994, antes de que nadie supiera cómo construir realmente algún tipo de computadora cuántica, un matemático de los Laboratorios Bell imaginó cómo programar una para resolver el problema de la factorización. Estamos hablando de Peter Shor,

todo un prodigio en la resolución de problemas que ya de joven demostró su gran talento en las olimpiadas de matemáticas y en otras competiciones. A su ingenioso algoritmo, que abría un sinfín de posibilidades, Shor lo llama simplemente «algoritmo de factorización», aunque todo el mundo se refiere a él como el algoritmo de Shor. Dos años más tarde, Lov Grover, también de los Laboratorios Bell, presentó un algoritmo cuántico para realizar búsquedas en una gran base de datos desordenada. Ese es el difícil problema canónico para un mundo de información ilimitada, agujas y pajares.

«Las computadoras cuánticas fueron básicamente una revolución», dijo en 2009, en el curso de una conferencia, Dorit Aharonov, de la Universidad Hebrea de Jerusalén. «La revolución se puso en marcha por el algoritmo de Shor. Pero la razón de la revolución —además de sus sorprendentes implicaciones prácticas— es que redefinen qué es un problema *fácil* y qué es un problema *difícil*.»^[13.34]

Lo que da a las computadoras cuánticas su potencial, también hace que resulte increíblemente complejo trabajar con ellas. Extraer información de un sistema significa observarlo, y observar un sistema significa interferir en la magia cuántica. Los qubits no pueden ser observados mientras realizan en paralelo sus numerosas operaciones desde el punto de vista exponencial; medir esa oscura confusión de posibilidades la reduce a un bit clásico. La información cuántica es frágil. La única manera de conocer el resultado de una computación es esperar a que el trabajo cuántico se haya completado.

La información cuántica es como un sueño; es como algo evanescente que nunca llega a existir con la misma firmeza que la de una palabra en una hoja impresa. «Mucha gente puede leer un libro y captar el mismo mensaje», dice Bennett, «pero intentar explicar a la gente tu sueño cambia el recuerdo que tienes de él, de modo que al final lo olvidas y recuerdas únicamente lo que contaste de él». La cancelación cuántica, por su parte, equivale a una verdadera destrucción: «Uno puede decir realmente que hasta Dios se ha olvidado».^[13.35]

En cuanto a Shannon, no pudo presenciar este florecimiento de las semillas que él mismo había plantado. «En mi opinión, si Shannon siguiera entre nosotros, se sentiría sumamente entusiasmado ante la capacidad de un canal que utiliza el entrelazamiento cuántico», dice Bennett. «La misma forma, una

generalización de la fórmula de Shannon, sirve tanto para el canal clásico como para el cuántico de una manera muy elegante. De modo que queda perfectamente establecido que la generalización cuántica de la información clásica ha dado lugar a una teoría más precisa y más poderosa, tanto de la computación como de la comunicación.»^[13.36] Shannon vivió hasta 2001, tras pasar sus últimos años en esa oscuridad y esa soledad que provoca la enfermedad que todo lo cancela y borra, el Alzheimer. Su vida se había prolongado a lo largo del siglo XX y había contribuido a definirlo. Como cualquier otra persona, fue el progenitor de la era de la información. El ciberespacio es, en parte, creación suya; nunca lo supo, aunque dijera en su última entrevista, en 1987, que estaba investigando la idea de una sala de los espejos, «para desarrollar todas las posibles salas de espejos que tengan sentido, de modo que si usted mira en todas direcciones desde el interior de una, el espacio se divide en un montón de salas, y usted está en cada una de ellas, y esto se repite hasta el infinito sin contradicciones».^[13.37] Esperaba construir una galería de espejos en su casa situada cerca del MIT, pero no llegó a hacerlo.

Fue John Wheeler quien dejó un programa de lo que tenía por delante la ciencia de la información cuántica: una modesta lista de cuestiones pendientes para la siguiente generación de físicos y especialistas en ciencias de la computación:

«Traducid las versiones cuánticas de la teoría de cuerdas y de la geometrodinámica de Einstein de la lengua del continuum a la lengua del bit», exhortaba a sus herederos.

«Estudiad una por una con visión imaginativa las poderosas herramientas que las matemáticas, incluida la lógica matemática, han obtenido [...] y para cada una de estas técnicas elaborad su transcripción al mundo de los bits».

«En la evolución rueda-sobre-rueda-sobre-rueda de la programación de las computadoras, hallad, sistematizad y mostrad cualquier característica que ilustre la estructura estrato-sobre-estrato-sobre-estrato de la física».

Y: «Por último. ¿Deplorad? No, celebrad la ausencia de una definición clara y precisa del término “bit” como unidad elemental para el establecimiento del significado [...] Solo cuando aprendamos a combinar bits en un número increíblemente grande para obtener lo que llamamos existencia, podremos comprender mejor lo que queremos decir con bit y con existencia».^[13.38]

Este es el desafío que sigue pendiente, y no solo para los científicos: el establecimiento del significado.

TRAS EL DILUVIO

(Un gran álbum de Babel)

Supongamos que dentro de todo libro hay otro libro, y que dentro de cada letra de cada página se despliega constantemente otro volumen; pero esos volúmenes no ocupan ningún espacio en el escritorio. Supongamos que el conocimiento pudiera reducirse a una quintaesencia, contenida dentro de una imagen, un signo, contenido dentro de un lugar que no es ningún lugar.^[14.1]

HILARY MANTEL (2009)

«E l universo (que otros llaman la Biblioteca)...»^[14.2]

Así empieza Jorge Luis Borges su relato de 1941 «La Biblioteca de Babel», que trata de la mítica biblioteca que contiene todos los libros de todas las lenguas, libros apologéticos y proféticos, el Evangelio y el comentario al Evangelio y el comentario al comentario al Evangelio, la historia detallada del futuro, las interpolaciones de todos los libros en todos los demás libros, el verdadero catálogo de la biblioteca y los innumerables catálogos falsos. Esta biblioteca (que otros llaman el universo) engloba toda la información. Sin embargo, en ella no puede descubrirse ningún conocimiento, precisamente porque todo el conocimiento *está* en ella, colocado en los anaqueles junto a toda la falsedad. En las galerías de espejos, en las incontables estanterías, puede encontrarse todo y nada. No puede haber ejemplo más perfecto de exceso de información.

Nosotros creamos nuestros propios almacenes. La persistencia de la información, la dificultad de olvidar, tan característica de nuestro tiempo,

acrecenta la confusión. Cuando la enciclopedia gratuita, amateur y colectiva online llamada Wikipedia empezó a superar a todas las enciclopedias impresas del mundo en volumen y en completitud, los editores se dieron cuenta de que demasiados nombres tenían múltiples identidades. Desarrollaron entonces una política de desambiguación, que dio lugar a las páginas de desambiguación (cien mil o más). Por ejemplo, un usuario que se adentrara en las laberínticas páginas de Wikipedia en busca de «Babel» se encuentra con «Babel (desambiguación)», que a su vez lo lleva al nombre hebreo de la antigua Babilonia, a la torre de Babel, a un periódico iraquí, a un libro de Patti Smith, a un periodista soviético, a una revista australiana de profesores de lengua, a una película, a una compañía discográfica, a una isla de Australia, a dos montes distintos de Canadá, y a «un planeta neutral del universo de ficción de la Guerra de las Galaxias». Y más aún. Los caminos de la desambiguación se bifurcan una y otra vez. Por ejemplo, «Torre de Babel (desambiguación)» recoge, además de la historia del Antiguo Testamento, canciones, juegos, libros, un cuadro de Brueghel, un grabado de Escher, y «una carta del tarot». Hemos construido muchas torres de Babel.

Mucho antes de que existiera Wikipedia, Borges escribió también un relato acerca de la enciclopedia «que falazmente se llama *The Anglo-American Cyclopedia* (New York, 1917)», un laberinto en el que se mezcla la ficción y la realidad, otro salón de espejos y de erratas, un compendio de información pura e impura que proyecta su propio mundo. Ese mundo se llama Tlön. «Se conjetura que este *brave new world* es obra de una sociedad secreta de astrónomos, de biólogos, de ingenieros, de metafísicos, de poetas, de químicos, de algebristas, de moralistas, de pintores, de geómetras [...]

, dice Borges. «Ese plan es tan vasto que la contribución de cada escritor es infinitesimal. Al principio se creyó que Tlön era un mero caos, una irresponsable licencia de la imaginación; ahora se sabe que es un cosmos.»^[14.3] No sin buenos motivos, el maestro argentino ha sido convertido en profeta («nuestro tío heresiarca», lo llama William Gibson)^[14.4] por otra generación de escritores de la era de la información.

Mucho antes de Borges, la imaginación de Charles Babbage había evocado ya otra biblioteca de Babel. La encontró en el aire: un registro, disperso, pero permanente, de todas las manifestaciones humanas.

¡Qué caos tan extraño es esta vasta atmósfera que respiramos! [...] El propio

aire es una biblioteca inmensa, en cuyas páginas está escrito para siempre todo lo que el hombre ha dicho o la mujer ha susurrado. Allí, en sus caracteres mutables, pero infalibles, mezclados con los primeros y los últimos suspiros de mortalidad, estaban registrados para siempre votos incumplidos, promesas insatisfechas, perpetuando en los movimientos unidos de cada partícula, el testimonio de la voluntad cambiante del hombre.^[14.5]

Edgar Allan Poe, que seguía con entusiasmo la obra de Babbage, se dio cuenta de lo que significaba. «Ningún pensamiento puede perecer», escribió en 1845 en un diálogo entre dos ángeles. «¿No cruzó por tu mente algún pensamiento sobre el *poder físico de las palabras*? Cada palabra, ¿no es un impulso en el aire?». Más aún, todo impulso vibra indefinidamente hacia fuera, «hacia arriba y hacia adelante en sus influencias sobre todas las partículas de toda la materia», hasta que «al final, influye sobre cada cosa individual existente *en el universo*».^[14.6] Poe había leído también al gran defensor de Newton, Pierre-Simon Laplace. «Criatura de infinita sabiduría», decía Poe, «alguien a quien la *perfección* del análisis algebraico ha sido revelada», y que era capaz de rastrear las ondulaciones hasta su propia fuente.

Babbage y Poe adoptaron una visión de la nueva física semejante a la de la teoría de la información. Laplace había expuesto un determinismo perfecto basado en la mecánica de Newton; pero fue más lejos que el propio Newton, defendiendo un universo mecánico en el que no hay nada que se deje al azar. Como las leyes de la física se aplican también a los cuerpos celestes y a las partículas más diminutas, y como actúan con una fiabilidad perfecta, sin duda alguna (decía Laplace) el estado del universo procede inexorablemente a cada instante del pasado y conduce con la misma inexorabilidad hacia el futuro. Era demasiado pronto para concebir la incertidumbre cuántica, la teoría del caos, o los límites de la computabilidad. Para desdramatizar su determinismo perfecto, Laplace pedía que nos imagináramos un ser —una «inteligencia»— capaz de un conocimiento perfecto:

Abarcaría en una misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero; para él no habría nada incierto y el futuro, lo mismo que el pasado, estaría presente ante sus ojos.^[14.7]

Ninguno de los demás escritos de Laplace se hizo tan famoso como este experimento mental. Hacía no solo inútil la voluntad de Dios, sino también la del hombre. A los científicos ese newtonianismo extremo les parecía una causa de optimismo. Para Babbage, toda la naturaleza se parecía de repente a una enorme máquina calculadora, una grandiosa versión de su máquina determinista: «Cuando apartamos la vista de esas sencillas consecuencias de la yuxtaposición de unas cuantas ruedas, es imposible no percibir el razonamiento paralelo, que se aplica a los fenómenos más poderosos y mucho más complejos de la naturaleza».^[14.8] Una vez disturbado, cada átomo debe comunicar su movimiento a los otros, y estos, a su vez, influyen en las ondas de aire, y ningún impulso se pierde por completo. La senda de cualquier canoa sigue estando en los océanos. Babbage, cuya grabadora ferroviaria registraba en un rollo de papel la historia de un viaje en tren, veía la información, hasta ese momento evanescente, como una serie de impresiones físicas que eran o que podían ser conservadas para siempre. El fonógrafo, que imprimía el sonido en papel de aluminio o en cera, todavía no había sido inventado, pero Babbage podía ver la atmósfera como una máquina de movimiento con significado: «Cada átomo impresionado con todo lo bueno y lo malo [...] que los filósofos y los sabios le han transmitido, mezclado y combinado en diez mil formas distintas con todo lo que es despreciable y vil». Todas las palabras pronunciadas en la historia, ya fueran escuchadas por cien oyentes o por ninguno, lejos de desaparecer en el aire, dejan una huella indeleble, y el registro completo de las manifestaciones humanas es encriptado por las leyes del movimiento y, teóricamente, es susceptible de ser recuperado, siempre que haya la energía de computación suficiente.

Aquello era un exceso de optimismo. No obstante, el mismo año que Babbage publicó su ensayo, el químico y pintor Louis Daguerre perfeccionaba en París un medio de captar imágenes visuales sobre unas placas revestidas de plata. Su competidor inglés, William Fox Talbot, llamó a aquel invento el «arte del dibujo fotogénico, o de formar figuras e imágenes de objetos naturales mediante la luz solar».^[14.9] Talbot veía en aquello algo semejante a un meme. «Por medio de este artilugio», decía, «no es el artista el que crea la imagen, sino la imagen la que se crea a *sí misma*». Ahora bien, las imágenes que revolotean ante nuestros ojos podrían ser congeladas, impresas sobre una sustancia, y

convertidas en algo permanente.

Pintando o dibujando, un artista —con pericia, adiestramiento y mucho trabajo— reconstruye todo lo que el ojo es capaz de ver. En cambio, un daguerrotipo es en cierto modo la cosa misma, la información, almacenada en un instante. Era algo inimaginable, pero ahí estaba. La cabeza parecía ponerse a dar vueltas ante tantas posibilidades. Una vez daba comienzo el almacenamiento, ¿dónde iba a parar aquello? Un articulista americano enseguida asoció la fotografía con la biblioteca atmosférica de sonidos de Babbage: este afirmaba que todas las palabras estaban registradas en algún sitio en el aire, y quizá también todas las imágenes dejaban una marca permanente [...] en alguna parte.

En efecto, existe un gran álbum de Babel. Pero ¿qué pasaría, además, si la gran actividad del sol consistiera análogamente en registrarlo todo y emitir impresiones de nuestros rasgos e imágenes de nuestros actos; y de ese modo [...] por mucho que nos digan en sentido contrario, quizá haya otros mundos poblados y gobernados por las imágenes de las personas y acciones proyectadas desde este mundo y entre unos y otros? La naturaleza universal no sería en definitiva más que una serie de estructuras fonéticas y fotogénicas.^[14.10]

El universo, que otros llamaban una biblioteca o un álbum, venía a parecerse así a una computadora. Alan Turing quizá fuera el primero en darse cuenta de ello: al observar que la mejor forma de entender la computadora, lo mismo que el universo, es verla como una colección de estados, y el estado de la máquina en cualquier instante conduce al estado en el instante siguiente, y así todo el futuro de la máquina sería previsible desde su estado inicial y desde las señales que se le introducen.

El universo computa su propio destino.

Turing se dio cuenta de que el sueño de perfección de Laplace quizá fuera posible en una máquina, pero no en el universo, debido a un fenómeno que, una generación más tarde, sería descubierto por los estudiosos de la teoría del caos y denominado efecto mariposa. Turing lo describía en 1950 de la siguiente manera:

El sistema del «universo en su totalidad» es tal que hay poquísimos errores en sus condiciones iniciales que puedan tener un efecto aplastante con posterioridad. El desplazamiento de un solo electrón en una billonésima de centímetro en un

momento podría marcar la diferencia entre que un hombre pereciera en una avalancha un año después, o que se salvara de ella.^[14.11]

Si el universo es una computadora, quizá tengamos que esforzarnos todavía en acceder a su memoria. Si es una biblioteca, es una biblioteca sin anaqueles. Cuando todos los sonidos del mundo se dispersan por la atmósfera, no queda ninguna palabra asociada a ningún grupo de átomos en particular. Las palabras están en todas partes y no están en ninguna. Ese es el motivo de que Babbage llamara a ese almacén de información un «caos». Una vez más, se adelantó a su tiempo.

Cuando los griegos confeccionaron la lista de las Siete Maravillas del Mundo, incluyeron en ella el Faro de Alejandría, una torre de piedra de ciento veinte metros de altura erigida para ayudar a los navegantes, pero pasaron por alto la biblioteca situada en sus inmediaciones. Esa biblioteca, que acumulaba cientos de miles de rollos de papiro, conservaba la mayor colección de conocimiento existente en la tierra, en aquellos momentos y durante muchos siglos por venir. Iniciada en el siglo III a. e. c., vino a satisfacer las ambiciones que tenían los Ptolomeos de comprar, robar o copiar todos los escritos del mundo conocido. La biblioteca permitió a Alejandría superar a Atenas como capital intelectual. Sus librerías y pasillos guardaban los dramas de Sófocles, Esquilo y Eurípides; las matemáticas de Euclides, Arquímedes, y Eratóstenes; poemas, textos médicos, mapas astronómicos, obras místicas... «en un derroche de saber y de descubrimientos», decía H. G. Wells, «como no volvería a ver el mundo hasta el siglo XVI [...] Es el verdadero comienzo de la Historia Moderna».^[14.12] El faro era enorme, pero la verdadera maravilla era la biblioteca. Y entonces se quemó.

Exactamente cuándo y cómo sucedió no ha llegado a saberse nunca. Probablemente ocurriera más de una vez. Los conquistadores sedientos de venganza quemaban los libros como si en ellos residieran también las almas de los enemigos. «Los romanos quemaron los libros de los judíos, de los cristianos, y de los filósofos», señalaba en el siglo XIX Isaac D'Israeli. «Los judíos quemaron los libros de los cristianos y de los paganos; y los cristianos quemaron

los libros de los paganos y de los judíos.»^[14.13] La dinastía Qin quemó todos los libros de China con el fin de borrar del mapa la historia anterior. La labor de destrucción resultaba eficaz, pues la palabra escrita era frágil. Lo que se nos ha conservado de Sófocles no es ni tan siquiera una décima parte de su obra. Y lo que tenemos de Aristóteles no es en su mayoría más que un conjunto de obras de segunda o de tercera mano. Para los historiadores que estudian el pasado, la destrucción de la Gran Biblioteca es un horizonte de sucesos, un límite por el que no puede pasar la información. Ni siquiera sobrevivió a las llamas un catálogo parcial de la institución.

«¡Todas las obras de los atenienses perdidas!», se lamenta Tomasina (joven cultivadora de las matemáticas que nos recuerda a Ada Byron) ante su tutor, Séptimo, en el drama de Tom Stoppard titulado *Arcadia*. «Millares de poemas, la biblioteca del propio Aristóteles [...] ¿Cómo podemos dormir con ese dolor?». «Contando lo que tenemos», responde Séptimo.

No deberías dolerte por el resto más que por la pérdida de una hebilla de tus primeros zapatos, o por la cartilla que se te perderá cuando seas mayor. Se nos caen las cosas de las manos al mismo tiempo que las recogemos del suelo, como viajeros que deben cargar con todo en sus brazos, y lo que se nos cae a nosotros lo recogen los que vienen detrás. La procesión es muy larga y la vida muy corta. Vamos muriendo sobre la marcha. Pero no hay nada fuera de la marcha, de modo que no puede perderse nada de ella. Las obras olvidadas de Sófocles se recompondrán otra vez pedazo a pedazo, o serán escritas de nuevo en otra lengua.
^[14.14]

En cualquier caso, según Borges, las obras perdidas pueden encontrarse en la biblioteca de Babel.

En honor de la biblioteca perdida, el octavo verano de su existencia Wikipedia invitó a Alejandría a cientos de sus editores, un grupo de personas llamadas Shipmaster, Brassratgirl, Notafish o Jimbo, que por lo general solo se conocían online. Para entonces habían sido registrados más de siete millones de nombres de usuario de ese estilo; los peregrinos llegaron a la ciudad procedentes de cuarenta y cinco países, pagándose el viaje ellos mismos, cargando con sus portátiles, intercambiando sus secretos del oficio, y poniendo de manifiesto su alegría y su entusiasmo en sus camisetas. Por entonces —julio de 2008— Wikipedia contenía dos millones y medio de artículos en inglés, más que todas

las enciclopedias en papel del mundo juntas, y un total de once millones en doscientas sesenta y cuatro lenguas, entre ellas el wólof, el twi y el bajo sajón de Holanda, aunque no el choctaw, sección cerrada por decisión de la comunidad manifestada en una votación después de que se redactaran apenas quince artículos, o el klingon, que se descubrió que era una lengua «inventada», aunque no exactamente de ficción. Los wikipedianos se consideran a sí mismos los herederos de la Gran Biblioteca, y su misión consistiría en recoger todo el conocimiento registrado hasta la fecha. Sin embargo, no reúnen ni conservan los textos ya existentes. Intentan refundir el saber compartido, aparte y al margen de los individuos que pudieran pensar que es suyo.

Como la biblioteca imaginaria de Borges, Wikipedia empieza a parecer ilimitada. Varias decenas de Wikipedias no inglesas tienen cada una su propio artículo sobre *Pokémon*, juego de cartas, serie manga y franquicia. La Wikipedia inglesa empezó con un solo artículo y a partir de él se desarrolló toda una selva. Hay una página para «Pokémon (desambiguación)», necesaria, entre otras razones, en caso de que alguien busque el oncogén Zbtb7, llamado Pokemon (a partir de las iniciales en inglés del factor ontogénico eritroide mieloide POK, *POK erythroid myeloid ontogenic factor*), hasta que los abogados de la marca registrada Nintendo amenazaron con poner un pleito. Hay al menos cinco grandes artículos sobre los pokémons de la cultura popular, y de ellos nacieron otros artículos secundarios y colaterales acerca de regiones Pokemon, elementos, episodios de televisión, juegos tácticos, y cuatrocientos noventa y tres criaturas, héroes, protagonistas, rivales, compañeros y rivales, desde Bulbasaur hasta Arceus. Todos ellos han sido cuidadosamente investigados y editados para mayor exactitud, con el fin de garantizar que son fiables y fieles al universo Pokémon, que, en realidad, no existe, según más de un sentido de la palabra «existir». Situándonos de nuevo en el mundo real, Wikipedia tiene o aspira a tener artículos detallados que describan las rutas, intersecciones, e historias de todas las carreteras y autopistas numeradas de los Estados Unidos. («La Route 273 [Estado de Nueva York, desmantelada en 1980] arrancaba de una intersección de la U. S. Route 4 en Whitehall. Después de esa intersección, la carretera pasaba por el cementerio Our Lady of Angels, donde giraba hacia el sudeste. La Route 273 continuaba al pie de Ore Red Hill, fuera de Whitehall. Cerca de Ore Red Hill, la carretera se cruzaba con un camino local, que enlazaba

con la US 4»). Hay páginas sobre todos los enzimas y los genes humanos conocidos. La *Encyclopaedia Britannica* nunca aspiró a ser tan completa. ¿Y cómo habría podido, siendo de papel?

Caso singular entre las grandes empresas de los primeros tiempos de Internet, Wikipedia no era un negocio; no hacía dinero, solo lo perdía. Era subvencionada por una asociación sin ánimo de lucro. Cuando la enciclopedia tenía cincuenta millones de usuarios diarios, la fundación tenía una nómina de dieciocho personas, de las cuales una estaba en Alemania, una en Holanda, una en Australia, y otra era un abogado; todos los demás eran colaboradores voluntarios: los millones de personas que contribuían a la empresa, los mil y pico individuos llamados «administradores» y, presencia siempre determinante, el fundador y autodenominado «líder espiritual» del grupo, Jimmy Wales. Al principio Wales no pensó en crear la empresa gratuita, fragmentaria, caótica, diletante y no profesional en la que no tardaría en convertirse Wikipedia. La futura enciclopedia empezó utilizando una lista de expertos, credenciales académicas, sistemas de verificación y de arbitraje. Pero, quieras que no, la idea *wiki* cuajó. Una «wiki», de la palabra hawaiana que significa «rápido», era una página web que no solo podía ser vista, sino también editada por cualquiera. Así, pues, una wiki era un sitio autocreado, o al menos capaz de sostenerse a sí mismo.

Wikipedia apareció por primera vez ante los usuarios de Internet con una descripción muy simple:

Página de Inicio

¡Puedes editar esta página ahora mismo! Es un proyecto comunitario de contenido libre y gratuito.

¡Bienvenido a Wikipedia! Estamos escribiendo colectivamente una enciclopedia completa a partir de cero. Empezamos a trabajar en enero de 2001. Ya tenemos más de tres mil páginas. Y queremos tener más de cien mil. Así que, ¡a trabajar! Escribe un poco (o un mucho) sobre cualquier cosa que sepas. Lee aquí nuestro mensaje de bienvenida: ¡Bienvenido, recién llegado!

La exigüidad de la cobertura aquel primer año puede calibrarse por la lista de los artículos solicitados. Bajo el epígrafe Religión: «¿Catolicismo? - ¿Satán? - ¿Zoroastro? - ¿Mitología?». En Tecnología: «¿Motor de combustión interna? -

¿Dirigible? - ¿Pantalla de cristal líquido? - ¿Ancho de banda?». En Folklore: «(Si quieres escribir algo sobre folklore, haz el favor de empezar por una lista de temas folklóricos que realmente sean considerados temas característicos y significativos del folklore, asunto del que probablemente no sabrás mucho si todo lo que has hecho en este sentido es jugar a Dragones y Mazmorras, por ejemplo)». ^[14.15] Dragones y Mazmorras era un tema que estaba ya bien cubierto. Wikipedia no iba buscando restos de serie de ningún tipo, pero tampoco los desdeñaba. Años más tarde, en Alejandría, Jimmy Wales dijo: «A todas esas personas que escriben obsesivamente acerca de Britney Spears o los Simpson o Pokémon, sencillamente no es cierto que intentemos reorientarlas y llevarlas a escribir sobre oscuros conceptos de física. Wiki no es de papel, y el tiempo que gastan no es algo que nosotros les debemos. No podemos decir: “¿Por qué tenemos unos empleados que hacen un trabajo tan inútil?” No hacen daño a nadie. Que escriban lo que quieran».

«Wiki no es de papel» era la divisa no oficial de la empresa. En un acto de autorreferencia, la frase pasó a tener su propia página en la enciclopedia (véase «*Wiki is not paper*», «*Wiki ist kein Papier*» y «*Wikipédia n'est pas sur papier*»). Significa que no existe ningún límite físico ni económico al número ni a la extensión de los artículos. Los bits son gratuitos. «Cualquier tipo de metáfora acerca del papel o del espacio está muerta», como dijo Wales.

Wikipedia se ha convertido así en un bastión de la cultura con una velocidad inusitada, en parte debido a su imprevista relación sinérgica con Google. Es una prueba de las ideas de inteligencia de masas: usuarios que debaten hasta el infinito la fiabilidad —en la teoría y en la práctica— de unos artículos escritos sin ningún tono de autoridad por personas carentes de credenciales, sin identidad verificable, y con prejuicios desconocidos. Wikipedia, como es sabido, estaba sometida a toda clase de vandalismos. Ponía al descubierto las dificultades —quizá la imposibilidad— de llegar a una idea neutral, consensuada, de una realidad discutida y tumultuosa. El proceso se vio plagado de las llamadas guerras de ediciones, en las que algunos colaboradores enemistados entre sí se dedicaban a eliminar incesantemente las alteraciones introducidas por otros. A finales de 2006, las personas interesadas en el artículo «Gato» no pudieron ponerse de acuerdo a la hora de decidir si el individuo que tiene un gato es su «dueño», su «cuidador» o su «compañero humano». Durante tres semanas, la

discusión se prolongó hasta ocupar la extensión de un libro pequeño. Ha habido guerras de ediciones sobre las comas y sobre los dioses, guerras fútiles sobre ortografía y pronunciación o sobre disputas geopolíticas. Otras guerras de ediciones han venido a poner de manifiesto la maleabilidad de las palabras. ¿La República de Conch (Key West, Florida) es una «micronación»? ¿Una determinada fotografía de un oso polar joven era «mona»? La opinión de los expertos difería, y todo el mundo era un experto.

Después de algunos jaleos ocasionales, la tranquilidad se impone y los artículos suelen gozar de la permanencia; no obstante, aunque el proyecto parece alcanzar una especie de equilibrio, es muy dinámico e inestable. En el universo de Wikipedia la realidad no puede identificarse con lo definitivo. Esa idea era una ilusión alentada en parte por la solidez de una enciclopedia hecha a fuerza de pluma y papel. En la *Encyclopédie*, publicada en París a partir de 1751, Denis Diderot pretendía «reunir todo el saber que actualmente se halla disperso sobre la faz de la tierra, dar a conocer su estructura general a los hombres con los que vivimos, y transmitirlo a los que vengan detrás de nosotros». La *Britannica*, que apareció por primera vez en Edimburgo en 1768 en cien fascículos semanales, al precio de seis peniques cada uno, está envuelta en el mismo halo de autoridad. Daba la sensación de estar completa... en cada nueva edición. La obra no tiene equivalente en ninguna otra lengua del mundo. Aun así, los expertos responsables de la tercera edición («en dieciocho volúmenes, y considerablemente ampliada»), más de un siglo después de la aparición de los *Principia* de Newton, no se atrevieron a respaldar su teoría de la gravedad o de la gravitación, ni de hecho la de nadie. «Ha habido grandes disputas», decía la *Britannica*.

Muchos filósofos eminentes, y entre ellos el propio Sir Isaac Newton, la han considerado la primera de todas las causas segundas; una sustancia incorpórea o espiritual, que no puede ser percibida nunca más que por sus efectos; una propiedad universal de la materia, etc. Otros han intentado explicar los fenómenos de la gravitación por la acción de un fluido etéreo muy sutil; y en los últimos años de su vida Sir Isaac parece no haber sido contrario a esta explicación. Incluso planteó una conjetura acerca de la materia en la que ese fluido podría ocasionar dichos fenómenos. Pero para una explicación exhaustiva del [...] estado de la cuestión en el momento actual, véanse los artículos «Filosofía Newtoniana», «Astronomía», «Atmósfera», «Tierra», «Electricidad», «Fuego», «Luz»,

«Atracción», «Repulsión», «Vacío», etc.

Como la *Encyclopaedia Britannica* era toda una autoridad, la teoría de la gravitación de Newton no formaba todavía parte del conocimiento.

Wikipedia renuncia a este tipo de autoridad. Las instituciones académicas oficialmente desconfían de ella. Los periodistas tienen órdenes de no basarse en ella. Pero la autoridad se impone. Si alguien quiere saber en cuántos estados norteamericanos hay un condado llamado Montgomery, ¿quién no va a creerse que son dieciocho, que es el número que da Wikipedia? ¿En qué otro lugar podría buscarse una estadística tan oscura, generada por la suma de conocimientos de cientos o de miles de personas, cada una de las cuales probablemente solo conozca un condado de Montgomery en concreto? En Wikipedia hay un artículo muy popular llamado «Errores de la *Encyclopaedia Britannica* que han sido corregidos por Wikipedia». Naturalmente este artículo está cambiando constantemente. De hecho, toda Wikipedia está cambiando constantemente. En todo momento el lector coge alguna versión de la verdad al vuelo.

Cuando Wikipedia afirma en su artículo «Senescencia Vejez» que

tras un período de renovación casi perfecta (en los humanos, entre los veinte y los treinta y cinco años), la senescencia de los seres vivos se caracteriza por la decadencia de la facultad de responder al estrés, un aumento del desequilibrio homeostático y del riesgo de enfermedades. Esta serie irreversible de cambios termina irremediabilmente en la muerte

cualquier lector se lo creerá; sin embargo, durante un minuto, a primera hora de la mañana del 20 de diciembre de 2007, todo el artículo estuvo compuesto en realidad de una sola frase:

«Senescencia es lo que tiene uno cuando se vuelve jodidamente viejo, viejo y viejo».^[14.16]

Un vandalismo tan evidente no llega a durar ni eso. Hay bots automáticos encargados de detectar y eliminar tales acciones, así como legiones de combatientes humanos contra el vandalismo, muchos de ellos pertenecientes a la

Counter-Vandalism Unit and Task Force. Según un dicho popular creado por un vándalo frustrado: «En Wikipedia hay una conspiración gigantesca que intenta que sus artículos coincidan con la realidad». Es casi verdad. A todo lo que pueden aspirar los wikipedianos es a una conspiración, y a menudo con eso basta.

Casi a finales del siglo XIX, Lewis Carroll describía en una obra de ficción el mapa definitivo que presentaba el mundo a una escala unitaria de una milla por una milla. «Todavía no ha sido desplegado nunca. Los campesinos se opusieron: dijeron que habría ocupado todo el país y que habría ocultado la luz del sol.»^[14.17] A los wikipedianos no se les ha escapado el sentido de esta frase. Algunos están familiarizados con un debate iniciado por la sucursal alemana en torno al tornillo de la pastilla izquierda del freno de la rueda posterior de la bicicleta de Ulrich Fuchs. Como editor de Wikipedia, Fuchs propuso la siguiente cuestión: ¿Dentro del universo de objetos existentes merece este elemento tener su propio artículo en Wikipedia? Se reconoció que, por pequeño que fuera, el tornillo era real y se podía especificar perfectamente. «Es un objeto del espacio, y yo lo he visto», dijo Jimmy Wales.^[14.18] En efecto, en la versión alemana de la meta-wiki (la Wikipedia *sobre* Wikipedia) apareció un artículo titulado *Die Schraube an den hinteren linken Bremsbacke am Fahrrad von Ulrich Fuchs*.^[14.19] Como señalaba Wales, la mera existencia de este artículo era una «meta-ironía». Había sido escrito por la mismísima persona que sostenía que no era apropiado. El artículo, sin embargo, no trataba en realidad del tornillo. Trataba de una controversia: la controversia sobre si Wikipedia debía esforzarse —en la teoría o en la práctica— de describir la totalidad del mundo en sus más mínimos detalles.

Las facciones enfrentadas se unieron en torno a las etiquetas «eliminacionismo» e «inclusionismo». Los inclusionistas adoptan la postura más abierta en torno a lo que debe aparecer en Wikipedia. Los eliminacionistas defienden la supresión de las trivialidades —y a veces la llevan efectivamente a cabo eliminando los artículos demasiado breves o mal escritos o poco fiables, sobre temas carentes de entidad—. Todos estos criterios se supone que son variables y subjetivos. Los eliminacionistas quieren elevar el listón de calidad. En 2008 lograron eliminar un artículo sobre la Iglesia Presbiteriana de Port Macquarie, en Nueva Gales del Sur, Australia, debido a que no tenía entidad

suficiente. El propio Jimmy Wales se inclinó a favor del inclusionismo. A finales del verano de 2007, visitó Ciudad del Cabo, Sudáfrica, almorzó en un sitio llamado Mzoli's y creó un «stub» («esbozo») con una sola frase: «Mzoli's Meats es una carnicería y restaurante situado en la localidad de Guguletu, cerca de Ciudad del Cabo, Sudáfrica». Sobrevivió veintidós minutos hasta que un administrador de diecinueve años llamado ^demon lo eliminó debido a su insignificancia. Una hora más tarde, otro usuario recreó el artículo y lo amplió basándose en la información suministrada por un blog local de Ciudad del Cabo y una entrevista radiofónica transcrita online. Pasaron dos minutos y otro usuario presentó sus objeciones alegando que «este artículo o sección está escrito como si se tratara de un anuncio publicitario». Y así sucesivamente. La palabra «famoso» fue añadida y eliminada varias veces. El usuario ^demon intervino de nuevo para decir: «No somos las páginas amarillas ni tampoco una guía de viajes». El usuario EVula replicó: «Creo que si damos a este artículo más de dos horas de existencia tendremos algo valioso». La disputa atrajo enseguida la atención de los periódicos de Australia e Inglaterra. Un año después, el artículo no solo había sobrevivido, sino que se había ampliado e incluía una fotografía, la latitud y la longitud exacta del lugar, una lista de catorce referencias, y varias secciones de Historia, Negocios y Turismo. Evidentemente seguía reinando el malestar, pues en marzo de 2008 un usuario anónimo sustituyó todo el artículo por la siguiente frase: «Mzoli's es un restaurantucho insignificante y su artículo existe solo porque Jimmy Wales es un ególatra bocazas». Duró menos de un minuto.

Wikipedia evoluciona dendríticamente, lanzando sin parar nuevas ramificaciones en múltiples direcciones. (En eso se parece al universo). De ese modo el eliminacionismo y el inclusionismo generaron el fusionismo y el incrementalismo. Estos a su vez dieron lugar al faccionalismo, y las facciones se fusionaron en la Asociación de Wikipedianos Eliminacionistas y la Asociación de Wikipedianos Inclusionistas, así como en la Asociación de Wikipedianos a los que no les Gusta Hacer Juicios demasiado Amplios sobre el Valor de una Categoría General de Artículo, y la de los Wikipedianos que están a Favor de la Eliminación de Determinados Artículos Particularmente Malos, aunque Eso no Significa que Sean Eliminacionistas. A Wales le preocupaban sobre todo las Biografías de Personas Vivas. En un mundo ideal, en el que Wikipedia podría

verse libre de preocupaciones prácticas sobre el mantenimiento y la fiabilidad, Wales dijo que estaría encantado de ver una biografía de cada ser humano del planeta. Realmente supera a Borges.

Aun así, en ese extremo imposible —cada ser humano, cada tornillo de bicicleta—, la colección reunida en Wikipedia no poseería nada parecido a la Totalidad del Saber. Para las enciclopedias, la información suele venir en forma de temas y categorías. La *Britannica* diseñó su organización en 1790 como «un plan enteramente nuevo».^[14.20] Anunciaba «las distintas ciencias y artes» ordenadas como «Tratados o Sistemas distintos»:

Y una *explicación completa* de las diversas partes del saber por separado, ya se relacionen con objetos naturales y artificiales, o con asuntos eclesiásticos, civiles, militares, comerciales, etc.

En Wikipedia las partes del saber por separado tienden a mantenerse cada una por su lado. Los editores analizan la dinámica lógica como habrían podido hacerlo Aristóteles o Boole:

Muchos temas se basan en la relación del *factor X* con el *factor Y*, que daría lugar a uno o varios artículos completos. Eso tendría que ver, por ejemplo, con la *situación X* en el *emplazamiento Y*, o con la *versión X* del *elemento Y*. Esto es perfectamente válido cuando las dos variables relacionadas representan algún fenómeno culturalmente significativo o algún interés por lo demás notable. A menudo se necesitan artículos diferentes para un mismo tema en varios países distintos debido a sus diferencias fundamentales más allá de las fronteras internacionales. Artículos como los de la Industria de la Pizarra en Gales o en la Isla de Fox constituyen un ejemplo muy apropiado. Pero escribir sobre los Robles en Carolina del Norte o sobre un Camión Azul podría constituir una bifurcación basada en el punto de vista, una investigación original, o simplemente una tontería sin más.^[14.21]

Charles Dickens ya había considerado con anterioridad este mismo problema. En los *Papeles del Club Pickwick*, se cuenta que un hombre había leído en la Enciclopedia Británica un artículo sobre metafísica china. Sin embargo, no existía semejante artículo: «Leyó para la metafísica en la letra M y para China en la letra C, y combinó los elementos que sacó de una y de otra».^[14.22]

En 2008, el novelista Nicholson Baker, haciéndose llamar Wageless, se metió, como tantos otros, en el fregado de Wikipedia, primero buscando información y luego aportándola él a modo de tentativa. Empezó un viernes por la noche con el artículo sobre la somatotropina bovina y continuó al día siguiente con *Sleepless in Seattle* («Algo para recordar»), periodización, y fluidos hidráulicos. El domingo tocó pornochanchada (películas brasileñas de sexo), un jugador de fútbol americano de los años cincuenta llamado Earl Blair, y otra vez fluidos hidráulicos. El martes descubrió el Escuadrón de Salvamento de Artículos, dedicado a localizar los artículos en peligro de ser eliminados y de salvarlos mejorándolos. Baker no dudó en alistarse en él redactando la siguiente nota: «Quiero formar parte del grupo». Su caída en la obsesión está documentada en los archivos, como, por lo demás, todo lo que ocurre en Wikipedia, y llegó incluso a escribir sobre el asunto unos meses después en una publicación sobre papel, *The New York Review of Books*.

Empecé poniéndome ante el ordenador encendido, de pie junto al mostrador de la cocina, ojeando mi lista de referencia, cada vez más numerosa, comprobándola y observándola [...] Dejé de oír lo que me decía mi familia: durante casi dos semanas desaparecí prácticamente como si se me hubiera tragado la pantalla, intentando socorrer biografías brevísimas, a veces de carácter abiertamente publicitario, pero en cualquier caso valiosas, redactándolas de nuevo en un lenguaje neutro, y registrando a toda prisa bases de datos de periódicos y Google Books en busca de referencias que pudieran incrementar su cociente de notabilidad. Me había vuelto «inclusionista».^[14.23]

Acabó abrigando una «esperanza secreta»: que todos aquellos restos de serie se salvaran, si no en Wikipedia, al menos en una «Wikimorgue, un cajón de los sueños rotos». Así que propuso denominarla la Deletopedia. «Con el tiempo llegará a tener mucho que contar». Según el principio de que nada de lo que está online perece, poco después se creó la Deletionpedia, que ha ido incrementándose gradualmente. En ella sigue viva la Iglesia Presbiteriana de Port Macquarie, aunque, estrictamente hablando, no forme parte de la enciclopedia. Esa que algunos llaman el universo.

Los nombres dieron lugar a un problema especial: el de la desambiguación;

el de su complejidad y sus colisiones. El flujo de información casi ilimitado tuvo como consecuencia que todos los objetos del mundo se vieron de pronto envueltos en un mismo campo de batalla, en el que parecían participar en una carrera frenética de autos de choque. En otros tiempos más sencillos había habido denominaciones más sencillas: «Entonces el Señor Dios formó de la tierra a todos los animales del campo y a todas las aves del cielo, y los llevó ante el hombre para que les pusiera nombre», dice el Génesis. «Y el nombre de todo ser viviente había de ser el que el hombre le había dado». Un nombre para cada ser; un ser para cada nombre. Sin embargo, el hombre no tardaría en recibir ayuda.

En su novela *Los infinitos*, John Banville se imagina que el dios Hermes dice: «Una hamadriade es una ninfa de los bosques, y también una serpiente venenosa de la India y un babuino de Abisinia. A un dios le toca saber cosas de ese estilo».^[14.24] Pero, según Wikipedia, hamadriade es también el nombre de una mariposa, de una revista india de historia natural, y de una banda canadiense de rock progresivo. ¿Es que ahora somos todos dioses? El grupo de rock y la ninfa de los bosques podrían coexistir sin demasiadas fricciones, pero de manera más general la caída de las barreras de la información ha dado lugar a conflictos en torno a los nombres y a los derechos sobre los nombres. Por imposible que parezca, el mundo moderno está quedándose sin nombres. La lista de posibilidades parece infinita, pero la demanda es cada vez mayor.

Al enfrentarse en 1919 al problema cada vez más grave planteado por las equivocaciones en las señas de los destinatarios de los mensajes, las principales compañías de telégrafos crearon una Oficina Central de Direcciones Registradas. Su central, situada en el distrito financiero de Nueva York, ocupaba una habitación en un primer piso de Broad Street llena de archivadores de acero. Los clientes eran invitados a registrar nombres codificados de sus direcciones: palabras de entre cinco y diez letras, con la condición de que fueran «pronunciables», esto es «que estuvieran formados por sílabas que aparezcan en una de las ocho lenguas europeas».^[14.25] Muchos clientes se quejaron de lo cara que era la tarifa anual —2,50 dólares por nombre codificado—, pero en 1934 la oficina manejaba una lista de veintiocho mil nombres, entre ellos ILLUMINATE (correspondiente a la Compañía Edison de Nueva York), TOOTSWEETS (la Sweet Company of America), o CHERRYTREE (el Hotel George Washington).

El financiero Bernard M. Baruch consiguió adjudicarse el código BARUCH. [14.26] Aquel sistema fue el primero que hubo, el primero que se usó, y el modesto precursor de lo que estaba por venir.

Por supuesto el ciberespacio lo cambia todo. Una empresa de Carolina del Sur llamada Fox & Hound Realty, Billy Benton propietario/corredor, registró el nombre de dominio BARUCH.COM. Un canadiense con domicilio en High Prairie, Alberta, registró JRRTOLKIEN.COM y lo retuvo durante una década, hasta que un tribunal de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual de Ginebra se lo quitó. Aquel nombre tenía un valor; entre los que aseguraban tener interés en él, como denominación de marca comercial, registrada o sin registrar, estaban los herederos del famoso escritor, un editor, y varios directores de cine, por no hablar de varios miles de personas de todo el mundo que llevaban ese apellido. El mismo individuo de High Prairie estaba haciendo negocio con la posesión de otros nombres famosos: Céline Dion, Albert Einstein, Michael Crichton, Pierce Brosnan, y casi mil quinientos más. Algunas de esas personas contraatacaron. Unos cuantos nombres selectos —los más famosos— han desarrollado una tremenda concentración de valor económico. Los economistas calculan que la palabra *Nike* vale unos siete mil millones de dólares; y se calcula que *Coca-Cola* tiene un valor unas diez veces superior.

En el estudio de la onomástica hay un axioma que afirma que el incremento de las unidades sociales da lugar al incremento de los sistemas de nombres. Para vivir en una tribu o en una aldea, un solo nombre, como Albin o Ava, bastaba; pero las tribus dieron lugar a clanes, las ciudades a naciones, y la gente tuvo que perfeccionar el sistema: se crearon apodos y patronímicos, nombres basados en la geografía o en la ocupación del individuo. Unas sociedades más complejas exigen unos nombres más complejos. Internet representa no solo una nueva oportunidad de luchar por los nombres, sino un salto de escala que da pie a una fase de transición.

Un escritor de música de Atlanta llamado Bill Wyman recibió un aviso de cese y abstención de unos abogados que representaban al antiguo bajista de los Rolling Stones llamado también Bill Wyman, exigiéndole que «cesara y se abstuviera» de usar su nombre. En respuesta a la notificación recibida, el primer Bill Wyman indicó que el segundo Bill Wyman se llamaba en realidad William George Perks. La empresa automovilística llamada en Alemania Dr. Ing. h. c. F.

Porsche AG se enzarzó en una serie de batallas legales para proteger el nombre Carrera. Otro de los contendientes en ellas fue la localidad suiza de Carrera, con código postal 7122. «La localidad de Carrera existía antes que la marca registrada Porsche», escribió a los abogados de Porsche el suizo Christoph Reuss. «El uso que hace Porsche de ese nombre constituye una apropiación indebida de la buena voluntad y la reputación desarrolladas por los habitantes de Carrera». Y añadía por si fuera poco: «Esta localidad emite mucho menos ruido y mucha menos contaminación que el Porsche Carrera». No decía, sin embargo, que el famoso tenor José Carreras estaba enzarzado también en una disputa por motivos de nombre. Mientras tanto la empresa automovilística reclamó la propiedad como marca registrada de los números 911.

La ciencia de la computación dio origen a una expresión muy útil: *espacio de nombre*, un ámbito en el que todos los nombres son distintos y únicos. El mundo ha tenido desde hace mucho tiempo espacios de nombres basados en la geografía y otros basados en un determinado nicho económico. Se podía ser Bloomingdale's con tal de no vivir en Nueva York; o se podía ser Ford con tal de no fabricar automóviles. Los grupos de rock del mundo constituyen un espacio de nombre en el que coexisten Pretty Boy Floyd, Pink Floyd y Pink, junto con los 13th Floor Elevators, los 99th Floor Elevators o los Hamadriades. Encontrar nuevos nombres en ese espacio se ha convertido en un reto. El cantante y compositor llamado durante mucho tiempo solo «Prince» recibió ese nombre al nacer; cuando se cansó de él, se vio etiquetado con un meta-nombre, «El Artista Antes Conocido como Prince». El Gremio de Actores de Cine tiene su propio espacio de nombres: solo se permite en él una Julia Roberts. Los espacios de nombres tradicionales se solapan unos a otros y se fusionan entre sí. Y muchos están llenos hasta los topes.

Los nombres farmacéuticos constituyen un caso especial: ha surgido toda una sub-industria dedicada a acuñarlos, a estudiarlos y a investigarlos. En los Estados Unidos la Food and Drugs Administration revisa los nombres de medicamentos que se proponen para evitar posibles choques, y se trata de un proceso complejo e inseguro. Los errores pueden causar la muerte. Se ha administrado metadona, la sustancia usada contra la dependencia de los opiáceos, en vez de metadato, medicamento empleado contra el trastorno por déficit de atención, y el Taxol, fármaco utilizado en el tratamiento del cáncer, ha

sido usado en vez del Taxotere, una medicina distinta usada contra otro tipo de cáncer, con resultados fatales. Los médicos temen tanto los errores por similitud de apariencia como los errores por similitud de sonido: Zantac/Xanax; Verelan/Virolon. Los lingüistas inventan medidas científicas de «distanciamiento» de nombres. No obstante, se han aprobado medicamentos llamados Lamictal, Lamisil, Ludiomil y Lomotil.

En el espacio de nombres de empresas podrían verse signos de superpoblación en la paulatina desaparición de lo que cabría denominar nombres sencillos, significativos. Ninguna empresa nueva podría llamarse algo así como General Electric o First National Bank, o International Business Machines. Análogamente, A.1.Steak Sauce solo podría referirse a un producto alimenticio con una larga historia tras de sí. Existen millones de nombres de empresas, y hay enormes cantidades de dinero que van a parar a asesores profesionales dedicados al negocio de crear otros. No es una coincidencia que algunos de los éxitos más espectaculares de los nombres lanzados al ciberespacio rayen en el absurdo: Yahoo!, Google, Twitter.

Internet no es solo una batidora de nombres; es también de por sí un espacio de nombres. La navegación por las redes de ordenadores del globo se basa en el sistema especial de nombres de dominio, como COCA-COLA.COM. En realidad los nombres son direcciones, en el sentido moderno que tiene el término: «Un registro, lugar o mecanismo en el que se almacena información». El texto codifica números; y los números hablan de lugares en el ciberespacio, de los que se desgajan redes, sub-redes, y mecanismos. Aunque son códigos, esos breves fragmentos de texto soportan también el gran peso del significado en el más vasto de los espacios de nombres. Combinan elementos de marcas comerciales, matrículas automovilísticas, códigos postales, indicativos de emisoras de radio, y grafitos. Como ocurriera con los nombres codificados del telégrafo, cualquiera puede registrar un nombre de dominio pagando una pequeña tasa desde 1993. El primero en llegar es el primero en ser atendido. La demanda supera la oferta.

Demasiado trabajo para unas pocas palabras. Muchas entidades poseen marcas comerciales «apple», pero solo hay un APPLE.COM; cuando chocaron los dominios de la música y de la computación, también chocaron los Beatles y la empresa de ordenadores. Solo hay un MCDONALDS.COM, y el primero en

registrarlo fue un periodista llamado Joshua Quittner. Tanto como el imperio de la moda de Giorgio Armani deseaba poseer la denominación ARMANI.COM, lo deseaba Anand Ramnath Mani, de Vancouver, pero este fue el primero en conseguirla. Naturalmente no tardó en aparecer un mercado secundario de compraventa de nombres de dominio. En 2006, un empresario pagó a otro catorce millones de dólares por SEX.COM. En aquellos momentos casi todas las palabras de todas las lenguas conocidas habían sido registradas; y lo mismo había ocurrido con incontables combinaciones y variaciones de palabras: más de cien millones. Se trata de un nuevo negocio para los abogados especializados en derecho mercantil. Un equipo que trabajaba para DaimlerChrysler en Stuttgart, logró recuperar MERCEDESSHOP.COM, DRIVEAMERCEDES.COM, DODGEVIPER.COM, CRYSLER.COM, CHRISLER.COM, CHRYSTLER.COM, y CHRISTLER.COM.

Los edificios jurídicos de la propiedad intelectual temblaron. La respuesta fue una especie de pánico, una conquista de las marcas comerciales. Ya en 1980, los Estados Unidos registraban cerca de diez mil al año. Treinta años después, esa cifra se acercaba a las trescientas mil, y aumentaba cada año. Antes la inmensa mayoría de solicitudes de registro de marca solían ser rechazadas; ahora ocurre lo contrario. Todas las palabras de la lengua, en todas las combinaciones posibles, parecen susceptibles de obtener la protección de los gobiernos. He aquí un típico grupo de marcas registradas de los Estados Unidos a comienzos del siglo XXI: GREEN CIRCLE, DESERT ISLAND, MY STUDENT BODY, ENJOY A PARTY IN EVERY BOWL!, TECHNOLIFT, MEETINGS IDEAS, TAMPER PROOF KEY RINGS, THE BEST FROM THE WEST, AWESOME ACTIVITIES.

El choque de nombres y el agotamiento de los nombres son fenómenos que ya habían sucedido antes, pero nunca a semejante escala. Los naturalistas de la Antigüedad quizá conocieran quinientas plantas distintas y, por supuesto, dieron un nombre a cada una. Hasta el siglo XV esas eran todas las que se podían conocer. Más tarde, cuando empezaron a propagarse por Europa los libros impresos llenos de listas y dibujos, surgió un saber colectivo organizado y con él, como ha demostrado el historiador Brian Ogilvie,^[14.27] la disciplina llamada historia natural. Los primeros botánicos descubrieron una enorme profusión de nombres. Caspar Ratzenberger, que estudiaba en Wittenberg allá por 1550,

confeccionó un herbario e intentó llevarlo en orden: para una misma especie anotó once nombres en latín y en alemán: *Scandix*, *Pecten Veneris*, *Herba scanaria*, *Cerefolium aculeatum*, *Nadelkrautt*, *Hechelkam*, *Nadelkoerffel*, *Venusstrahl*, *Nadel Moehren*, *Schnabel Moehren*, *Schnabelkoerffel*.^[14.28] Esa misma planta se llamaba en Inglaterra *shepherd's needle* o *shepherd's comb*. Pero la profusión de especies no tardó en superar a la profusión de nombres. Los naturalistas formaron una comunidad; mantenían correspondencia unos con otros y viajaban. A finales de siglo un botánico suizo había publicado un catálogo de seis mil plantas.^[14.29] Cada naturalista que descubría una nueva tenía el privilegio y la responsabilidad de darle nombre; era inevitable, pues, que se produjera una proliferación de adjetivos y compuestos, lo mismo que de duplicaciones y redundancias. Al *shepherd's comb* y al *shepherd's needle* se sumaron, solo en inglés, *shepherd's bag*, *shepherd's purse*, *shepherd's beard*, *shepherd's bedstraw*, *shepherd's bodkin*, *shepherd's cress*, *shepherd's hourglass*, *shepherd's rod*, *shepherd's gourd*, *shepherd's joy*, *shepherd's knot*, *shepherd's myrtle*, *shepherd's peddler*, *shepherd's pouche*, *shepherd's staff*, *shepherd's teasel*, *shepherd's scrip*, y *shepherd's delight*.

Linneo todavía no había inventado la taxonomía; cuando lo hizo, en el siglo XVIII, tuvo que poner nombre a siete mil setecientas especies de plantas, y a cuatro mil cuatrocientas de animales. Ahora hay casi trescientas mil, sin contar los insectos, que son varios millones más. Los científicos siguen intentando darles nombre a todas: hay especies de escarabajos que han sido bautizadas en honor de Barack Obama, Darth Vader y Roy Orbison. Frank Zappa ha dado su nombre a una araña, a un pez y a una medusa.

«El nombre de un individuo es como su sombra», decía el onomatólogo vienés Ernst Pulgram en 1954. «No tiene su sustancia ni su alma, pero vive con él y por él. Su presencia no es inevitable, ni su ausencia fatal.»^[14.30] Eran épocas más sencillas.

Cuando Claude Shannon cogió una hoja de papel y dibujó su borrador de las medidas de la información en 1949, la escala iba de decenas de bits a centenares, millares, millones, billones y trillones. El transistor tenía un año de vida y la ley de Moore todavía no había sido concebida. En lo más alto de la pirámide estaba

el cálculo que hacía Shannon de las dimensiones de la información que tenía la Biblioteca del Congreso, cien trillones de bits, o 10^{14} . Casi tenía razón, pero la pirámide siguió creciendo.

Después de los bits vinieron los kilobits, como es natural. Al fin y al cabo, los ingenieros habían acuñado el término *kilobuck*, «idea que se le ocurrió a un científico para decir “mil dólares” en forma abreviada», según explicaba gentilmente *The New York Times* en 1951.^[14.31] Las dimensiones de la información aumentaron de manera exponencial, cuando en los años sesenta la gente empezó a percatarse de que la información iba a crecer exponencialmente. La idea fue expresada de manera casual por Gordon Moore, que todavía no había terminado sus estudios de química cuando Shannon bosquejó su nota y pasó a dedicarse a la ingeniería electrónica y a desarrollar los circuitos integrados. En 1965, tres años antes de que fundara la Intel Corporation, Moore se limitaba modestamente a sugerir que dentro de una década, en 1975, podrían combinarse sesenta y cinco mil transistores en una sola oblea de silicona. Preveía que esa cifra se multiplicaría por dos cada uno o dos años, un incremento del número de componentes que podían almacenarse en un chip, pero también, por ende, como acabó demostrándose, una duplicación de todos los tipos de capacidad de memoria y de velocidad de procesamiento, y una reducción a la mitad de los tamaños y los costes, aparentemente sin fin.

Los kilobits podían usarse para expresar la velocidad de las transmisiones, así como la capacidad de almacenamiento. En 1972, las empresas podían contratar líneas de alta velocidad que transmitían datos a razón de doscientos cuarenta kilobits por segundo. Siguiendo el ejemplo de IBM, cuyo hardware procesaba la información en bloques (*chunks*) de ocho bits, los ingenieros no tardaron en adoptar una nueva unidad, un tanto caprichosa, el byte. Bits y bytes. Así, pues, un kilobyte representaba ocho mil bits; un megabyte (unidad que vino poco después), ocho millones. Siguiendo el orden natural de las cosas, tal como establecieron los comités internacionales de pesos y medidas, de los *mega-* se pasó a los *giga-*, y de ahí a los *tera-*, a los *peta-*, y a los *exa-*, términos todos basados en raíces griegas, aunque cada vez con menos fidelidad lingüística. Eso bastó para medir cualquier cosa que se quisiera medir hasta 1991, cuando se vio la necesidad de los zettabytes (1.000.000.000.000.000.000.000) y de los yottabytes, de nombre involuntariamente ridículo

(1.000.000.000.000.000.000.000.000). En esta ascensión constante de la escala exponencial, la información dejó tras de sí otros parámetros. El dinero, por ejemplo, es poco en comparación. Detrás de los *kilobucks*, vendrían los *megabucks* y los *gigabucks*, y la gente hace bromas acerca de la inflación que va a llevarnos a los *terabucks*, pero ni todo el dinero del mundo, ni toda la riqueza acumulada por todas las generaciones de humanos, se aproximaría a un *petabuck*.

Los años setenta fueron la década de los megabytes. En el verano de 1970, IBM introdujo dos nuevos modelos de computadora con más memoria de la que había existido hasta entonces: el Modelo 155, con 768.000 bytes de memoria, y otro mayor, el Modelo 165, de todo un megabyte, en forma de gran armario. Uno de esos ordenadores centrales, que ocupaba toda una habitación, podía comprarse al precio de cuatro millones seiscientos setenta y cuatro mil ciento sesenta dólares. En 1982 Prime Computer vendía un megabyte de memoria en un solo circuito impreso por treinta y seis mil dólares. Cuando los editores del *Oxford English Dictionary* empezaron a digitalizar su contenido en 1987 (ciento veinte mecanógrafos y un solo ordenador central IBM), calcularon que sus dimensiones eran de un gigabyte. En un gigabyte cabe también todo el genoma humano. Mil gigas llenarían un terabyte. Un terabyte era la capacidad de almacenamiento en disco que Larry Page y Sergey Brin lograron comprar con la ayuda de los quince mil dólares obtenidos a través de sus tarjetas de crédito personales en 1998, cuando todavía estaban estudiando en Stanford después de graduarse y construyeron un prototipo de motor de búsqueda, al que primero llamaron BackRub y que luego rebautizaron Google. Un terabyte es la cantidad de datos que un canal de televisión analógica suele emitir a diario, y era el tamaño de la base de datos del archivo de patentes y marcas registradas del gobierno de los Estados Unidos cuando se puso online en 1998. En 2010 podía comprarse una unidad de disco de un terabyte por cien dólares, y cabía en la palma de la mano. Los libros de la Biblioteca del Congreso representan unos diez terabytes (tal como imaginaba Shannon), y ese número se multiplica por diez si se cuentan también las imágenes y las grabaciones musicales. La biblioteca tiene archivados ahora también sitios web; en febrero de 2010 había llegado a acumular por este concepto ciento sesenta terabytes.

A medida que el tren avanzaba, los pasajeros tenían a veces la sensación de

que la velocidad acortaba la concepción de su propia historia. La ley de Moore parecía sencilla sobre el papel, pero sus consecuencias hacían que la gente se las viera y se las deseara para encontrar metáforas con las que comprender su experiencia. El especialista en ciencia de la computación Jaron Lanier describe esa sensación de la siguiente manera: «Es como si te arrodillaras para plantar la semilla de un árbol y este creciera con tanta rapidez que se tragara toda tu ciudad antes de que pudieras ponerte otra vez de pie».^[14.32]

Una metáfora más conocida es la de la nube. Toda la información —toda la capacidad de información— se cierne sobre nuestras cabezas; prácticamente no es visible; prácticamente no es tangible, pero es terriblemente real; amorfa, espectral; planea por ahí cerca, pero no está situada en ninguna parte. El cielo debió de ser sentido así alguna vez por los creyentes. La gente habla de elevar sus vidas a la altura de la nube: al menos su vida informacional. Puede uno almacenar fotografías en la nube; Google administrará tus negocios en la nube; Google está poniendo todos los libros del mundo en la nube; el correo electrónico va y viene por la nube y realmente nunca sale de ella. Todas las ideas tradicionales de privacidad, basadas en la existencia de puertas y cerraduras, en el alejamiento y la invisibilidad física, han sido puestas patas arriba en la nube.

El dinero vive en la nube; las viejas formas son vestigios representativos de conocimiento de quién es el dueño de qué y de quién debe qué. En el siglo XXI serán vistas como anacronismos, curiosos o incluso absurdos: lingotes llevados de una parte a otra del mundo en frágiles galeones, sometidos a los tributos impuestos por los piratas y el dios Posidón; monedas de metal lanzadas desde los coches a una cesta en los peajes de una autopista y luego transportadas de un sitio a otro en camiones (ahora la historia de tu propio coche está en la nube); cheques arrancados de su matriz y firmados con tinta; billetes de tren, entradas a espectáculos, billetes de avión, o cualquier cosa impresa en papel perforado con filigrana o marca al agua, hologramas o fibras fluorescentes; y, muy pronto, todo tipo de dinero en efectivo. La economía del mundo se comercializa en la nube.

Su aspecto físico no podría parecerse menos a una nube. Las torres de servidores proliferan en edificios de ladrillo y complejos de acero sin marcas de identificación, con ventanas de cristales ahumados o sin ninguna ventana en absoluto, kilómetros de pasillos huecos, generadores diesel, torres de refrigeración, ventiladores de entrada de dos metros, y chimeneas de aluminio.

[14.33] Esta infraestructura oculta se desarrolla en una relación simbiótica con la infraestructura eléctrica, a la que cada vez se parece más. Hay conmutadores de información, centros de control y subestaciones. Y todos están agrupados y distribuidos. Ellos son los mecanismos; y la nube es su avatar.

La información producida y consumida por la humanidad solía desaparecer: esa era la norma, el resultado por defecto. Las visiones, los sonidos, las canciones, la palabra hablada se desvanecían. Las marcas sobre la piedra, sobre pergamino, o sobre papel constituían el caso especial. Al público de Sófocles no se le ocurrió nunca pensar que sería una pena que sus obras se perdieran; disfrutó del espectáculo y punto. Ahora las expectativas se han invertido. Todo debe ser registrado y conservado, al menos potencialmente: cada ejecución musical; cada delito cometido en una tienda, un ascensor o una calle; cada erupción volcánica o cada tsunami que pueda suceder en el rincón más apartado de la tierra; cada carta jugada o cada pieza movida en una partida online; cada partido de rugby o de cricket. Tener una cámara a mano es lo normal, no lo excepcional; en 2010 se captaron cerca de quinientos mil millones de imágenes. Por YouTube se pasaron más de mil millones de videos al día. La mayoría de estas actividades son fortuitas y no están organizadas, pero son casos extremos. El pionero de la computación, Gordon Bell, que a sus setenta años trabajaba para Microsoft Research, empezó a grabar cada momento de su jornada, cada conversación, cada mensaje, cada documento, a razón de un megabyte por hora o un gigabyte al mes, llevando colgada del cuello lo que él llamaba una «SenseCam» para crear lo que llamaba un «LifeLog». ¿Dónde acabó todo? No desde luego en la Biblioteca del Congreso.

Finalmente es natural —o incluso inevitable— preguntarnos cuánta información hay en el universo. Es la consecuencia de la máxima de Charles Babbage y de Edgar Allan Poe, según la cual «ningún pensamiento puede perecer». Seth Lloyd se ha encargado de las operaciones matemáticas. Es un ingeniero cuántico de cara redonda y gafas que trabaja en el MIT, un teórico y diseñador de computadoras cuánticas. Según dice, el universo, por el mero hecho de existir, registra información. Y al evolucionar en el tiempo, procesa información. ¿Cuánta? Para calcularla, Lloyd tiene en cuenta a qué velocidad trabaja esa «computadora» y cuánto tiempo lleva trabajando. Considerando el límite fundamental de velocidad, $2E/\pi\hbar$ operaciones por segundo («donde E es la

energía media del sistema por encima del estado estacionario y $\hbar = 1,0545 \times 10^{-34}$ julios/segundos es la constante reducida de Planck») y de espacio de memoria, limitado por la entropía de $S/k_B \ln 2$ («donde S es la entropía termodinámica del sistema y $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$ julios/K es la constante de Boltzmann»), junto con la velocidad de la luz y la edad del universo desde el Big Bang, Lloyd calcula que el universo puede haber realizado del orden de 10^{120} «ops» a lo largo de toda su historia.^[14.34] Considerando «todos los grados de libertad de todas las partículas del universo», actualmente daría cabida a unos 10^{90} bits. Y subiendo.

NOTICIAS NUEVAS TODOS LOS DÍAS

(Y cosas del mismo tenor)

Ruego disculpen los fallos que hayan podido producirse en este sitio web durante los últimos días. A mi modo de entender, una serie de inesperadas acumulaciones de hielo han sobrecargado las ramas de Internet, y los camiones que transportan los paquetes de información han comenzado a patinar por todas partes.^[15.1]

ANDREW TOBIAS (2007)

A medida que la imprenta, el telégrafo, la máquina de escribir, el teléfono, la radio, la computadora e Internet iban prosperando, cada uno en su debido momento, la gente decía, como si fuera la primera vez, que se habían sobrecargado las comunicaciones humanas: una nueva complejidad, una nueva división y un nuevo —y aterrador— exceso. En 1962, el presidente de la American Historical Association, Carl Bridenbaugh, advertía a sus colegas de que la existencia humana estaba experimentando una «Gran Mutación», tan repentina y radical «que actualmente estamos padeciendo una especie de amnesia histórica».^[15.2] Lamentaba la poca afición a la lectura; el distanciamiento de la naturaleza (que achacaba en parte a las «horribles cajas amarillas de la Kodak» y a «la omnipresencia del transistor»); y la pérdida de la cultura compartida. Principalmente, para los conservadores y los archiveros del pasado, estaba preocupado por las nuevas herramientas y técnicas de las que disponían los especialistas: «esa diosa-perra, llamada Cuantificación», «las máquinas procesadoras de datos», así como «esos proyectos aterradores de

aparatos de escaneo, de los que nos cuentan que leerán documentos y libros para nosotros». Más no era mejor, decía:

A pesar de toda esa verborrea sobre las comunicaciones con la que nos machacan a diario, lo cierto es que estas no han mejorado; en realidad, se han hecho más difíciles.^[15.3]

Estas observaciones se hicieron famosas tras ser difundidas en varias ocasiones: la primera vez, en el discurso que las incluía, pronunciado la noche del último sábado del año 1962 ante una audiencia de unas mil personas en el salón principal del hotel Conrad Hilton de Chicago; luego, en la versión impresa del mismo, publicada en 1963 por la revista de la asociación; y por último, una generación más tarde, en una versión online, de mucho más alcance y, probablemente, de mucha más durabilidad.^[15.4]

Elizabeth Eisenstein tuvo conocimiento de ellas en 1963 a través de la versión impresa, cuando enseñaba historia en calidad de profesora auxiliar a tiempo parcial en la American University de Washington (el mejor puesto de trabajo que pudo encontrar como mujer licenciada en Harvard). Más tarde consideraría ese momento el punto de partida de quince años de investigaciones que culminaron en su hito como académica, dos volúmenes titulados *The Printing Press as an Agent of Change*. Antes de la aparición de la obra de Eisenstein en 1979, nadie había intentado llevar a cabo un estudio exhaustivo de la imprenta como elemento esencial en la revolución de las comunicaciones para la transición de los tiempos medievales a la modernidad. Como Eisenstein decía, los libros de texto y los manuales tendían a situar la imprenta en algún punto entre la pandemia que asoló Europa en el siglo XIV, la peste negra, y el descubrimiento de América.^[15.5] Ella situaba el invento de Gutenberg en un punto central: en el cambio de la letra escrita a la letra impresa; en la aparición de los talleres de imprenta en las ciudades de la Europa del siglo XV; y en la transformación que se experimentó en «la recopilación de datos, los sistemas de almacenamiento y búsqueda y las redes de comunicación».^[15.6] Modestamente, hacía hincapié en que iba a tratar la imprenta *solo* como *un* agente de cambio, pero dejaba a sus lectores convencidos de que desempeñó un papel fundamental en la transformación de la Europa de comienzos de la Edad Moderna: el

Renacimiento, la Reforma de los protestantes y el nacimiento de la ciencia. Supuso «en la historia de la humanidad un punto decisivo de no retorno».^[15.7] Modeló la mente moderna.

También modeló la mente de los historiadores; Eisenstein estaba interesada en los hábitos mentales inconscientes de su profesión. Cuando se embarcó en su proyecto, empezó a creer que los académicos permanecían a menudo ciegos a los efectos del mismísimo medio en el que nadaban. A Marshall McLuhan, cuya obra, *La galaxia Gutenberg*, había sido publicada en 1962, le agradecía haberlos obligado a corregir su visión. En la época de los escribas, la cultura disponía solo de cómputos cronológicos primitivos: secuencias de acontecimientos ordenadas de manera confusa contaban las generaciones desde los tiempos de Adán, o de Noé, o de Rómulo y Remo. «Las valoraciones de los cambios históricos», decía, «podemos encontrarlas solo ocasionalmente en escritos cuyo claro objetivo es contar la “historia”, y a menudo deben ser deducidas de la lectura de dichos escritos. También hay que deducirlas de las sagas y los poemas épicos, de las escrituras sagradas, de las inscripciones funerarias, de los glifos y los monogramas, de los grandes monumentos de piedra, de los documentos encerrados en arcones hallados en los archivos de castillos, iglesias u otros edificios de carácter público y de las anotaciones al margen de manuscritos».^[15.8] El sentido de *en qué momento* estamos —la capacidad de ver el pasado desplegado ante nosotros; la interiorización de cronografías mentales; la percepción de anacronismos— llegó con la introducción de la imprenta.

Como máquina multicopista, la imprenta no solo hacía los textos más económicos y accesibles; su verdadero poder era que los hacía estables. «La cultura de los escribas», observaba Eisenstein, se vio «constantemente debilitada por la erosión, la corrupción y las pérdidas».^[15.9] La imprenta era segura, fiable y permanente.^[15.10] Cuando Tycho Brahe se pasaba horas y horas estudiando las tablas astronómicas, podía contar con que otros comprobarían esas mismas tablas tanto en su época como en el futuro. Cuando Kepler computaba su propio catálogo estelar con mucha más precisión, estaba perfeccionando las tablas de logaritmos publicadas por Napier. Por su parte, los talleres de imprenta no se limitaban a difundir los postulados de Martín Lutero, sino también, lo que es más importante, la mismísima Biblia. La revolución del Protestantismo tuvo mucho más que ver con la lectura e interpretación de la Biblia que con cualquier

aspecto doctrinal: la letra impresa superó a la letra escrita, los códices suplantaron a los rollos manuscritos y las lenguas vernáculas sustituyeron a las lenguas antiguas. Antes de la aparición de la imprenta, la escritura no estaba realmente fijada. Todas las formas del saber consiguieron una estabilidad y una permanencia, no porque el papel fuera más duradero que el papiro, sino simplemente porque comenzó a haber una multitud de copias.

En 1963, cuando leyó las advertencias del presidente de la American Historical Association, Eisenstein se dio cuenta de que estaba de acuerdo con la idea de que su profesión pasaba por una crisis, una crisis de diversos tipos. Pero consideró que Bridenbaugh planteaba la cuestión exactamente al revés. Bridenbaugh creía que el problema era la tendencia al olvido. «En mi opinión», decía con dramatismo, «la especie humana se enfrenta nada menos que a la pérdida de su memoria, y esta memoria es la historia».^[15.11] Eisenstein, tras reflexionar sobre las mismas nuevas tecnologías de la información que tanto preocupaban a los viejos historiadores, llegó a una conclusión diametralmente opuesta. El pasado no está desapareciendo de nuestra vista, sino todo lo contrario, se vuelve *más* accesible y *más* visible. «En una época que ha sido testigo del desciframiento del sistema de escritura Lineal B y del hallazgo de los Manuscritos del Mar Muerto», escribía, «parece que no hay apenas motivos para preocuparse por “la pérdida de la memoria de la especie humana”. Hay buenas razones para preocuparse por la sobrecarga de sus circuitos». En cuanto a la amnesia que tanto lamentaban Bridenbaugh y muchos de sus compañeros de profesión, Eisenstein hacía la siguiente reflexión:

Se trata de una interpretación errónea del dilema al que se enfrentan los historiadores de nuestros tiempos. La causa de las dificultades actuales no es un principio de amnesia, sino un recuerdo mucho más completo que el que haya experimentado cualquier generación pasada. Una constante recuperación, no el olvido, y una acumulación, no una pérdida, nos han llevado a la situación actual.
^[15.12]

Desde su punto de vista, una revolución de cinco siglos de antigüedad en las comunicaciones seguía cobrando impulso. ¿Cómo no se daban cuenta de ello?

«La sobrecarga de los circuitos» era una metáfora bastante innovadora para expresar una sensación —*demasiada información*— que parecía nueva. Siempre había parecido nueva. Un individuo tiene hambre de libros; vuelve a leer los pocos que más le han cautivado; pide o toma prestados más; espera en la puerta de la biblioteca y, tal vez, en menos que canta un gallo, se encuentra en un estado de saciedad: *demasiadas cosas que leer*. En 1621, el clérigo y erudito de Oxford, Robert Burton, creador de una de las bibliotecas privadas más grandes del mundo —mil setecientos libros— en la que nunca figuró un tesoro, expresó esa sensación:

Me llegan noticias nuevas todos los días, además de esos rumores habituales que hablan de guerras, epidemias, incendios, inundaciones, robos, asesinatos, matanzas, meteoritos, cometas, espectros, prodigios, apariciones, ciudades invadidas, ciudades sitiadas en Francia, Alemania, Turquía, Persia, Polonia, etcétera, concentraciones y preparativos militares, y otras cosas del mismo tenor que estamos obligados a vivir en estos tiempos tempestuosos: batallas, tantísimos hombres caídos, combates singulares, naufragios, actos de piratería y enfrentamientos navales, tratados de paz, ligas, estratagemas y más pánico. Una enorme confusión de juramentos, deseos, acciones, edictos, peticiones, pleitos, súplicas, leyes, proclamas, quejas y agravios llega a diario a nuestros oídos. Cada día nuevos libros, panfletos, circulares, relatos, catálogos enteros de todo tipo de libros, nuevas paradojas, opiniones, cismas, herejías, controversias filosóficas, religión, etcétera. Luego viene una marea de bodas, mascaradas, pantomimas, entretenimientos, jubileos, embajadas, justas y torneos, trofeos, triunfos, fiestas, deportes y juegos; luego, otra vez, como en una nueva escena totalmente distinta, traiciones, trampas y fullerías, robos, grandes felonías de toda índole, funerales, entierros, fallecimiento de Príncipes, nuevos descubrimientos, expediciones; ora asuntos cómicos, ora asuntos trágicos. Hoy nos enteramos del nombramiento de nuevos Señores y de nuevos funcionarios, mañana de la destitución de algún gran hombre, y luego, una vez más, de la concesión de grandes honores; a uno lo dejan en libertad, a otro lo mandan a la cárcel; uno gana, otro pierde: él prospera, su vecino va a la bancarrota; hoy mucho, luego, otra vez, penurias y hambre; uno corre, otro va a caballo, discusiones, risas, llantos, etcétera. Eso es lo que oigo todos los días, y otras cosas del mismo tenor. ^[15.13]

Burton consideraba que la superabundancia de información era algo nuevo. No se lamentaba, simplemente estaba sorprendido. No obstante, las protestas no

tardarían en llegar. Leibniz temió un regreso a la barbarie: «resultado al cual puede contribuir muchísimo esa espantosa masa de libros que nos hace crecer. Pues, al final, el desorden se convertirá en algo infranqueable».^[15.14] Alexander Pope escribió satíricamente de «aquellos días, en los que (después de que la Providencia permitió la invención de la Imprenta como castigo por los pecados de los eruditos) el Papel también se convirtió en algo tan barato, y los impresores se hicieron tan numerosos, que un diluvio de Autores inundó la tierra».^[15.15]

El término *diluvio* se convirtió en una metáfora habitual para describir el exceso de información. Manifiesta una sensación de ahogo: describe la información como una gran ola que se eleva y se nos echa encima. O nos recuerda un bombardeo: una marea de datos con la que nos torpedean por todos los flancos con demasiada rapidez. El miedo a la cacofonía de unas voces puede tener una motivación religiosa, un temor a que el ruido secular ahogue la voz de la verdad. T.S. Eliot así lo expresaba en 1934:

Conocimiento del lenguaje, pero no del silencio;
Conocimiento de palabras, e ignorancia de la Palabra.
Todo nuestro conocimiento nos acerca a nuestra ignorancia,
Toda nuestra ignorancia nos acerca a la muerte,
Pero la cercanía de la muerte no nos acerca a DIOS.^[15.16]

O tal vez se tema que se derrumben los muros que nos separan de lo desconocido, o de lo horrible, o de lo aterrante. O tal vez se pierda la capacidad de imponer orden en el caos de las sensaciones. Parece que sea difícil encontrar la verdad en medio de una multitud de probables ficciones.

Cuando apareció la «teoría de la información», también lo hizo la «sobrecarga de información», el «exceso de información», la «ansiedad de información» y la «fatiga de información», estas dos últimas reconocidas en 2009 por el Diccionario Oxford de la Lengua Inglesa como síndromes puntuales de nuestra época: «Apatía, indiferencia o cansancio mental surgidos debido a la exposición prolongada a un exceso de información, especialmente (en su acepción más reciente) el estrés provocado por el intento de asimilar una cantidad excesiva de la información proveniente de los medios de comunicación, de Internet o del trabajo». A veces, la ansiedad de información puede coexistir con el aburrimiento, una combinación particularmente compleja. David Foster

Wallace tenía un nombre más siniestro para este estado de nuestros tiempos: Ruido Total. «El tsunami de hechos, contextos y perspectivas a nuestro alcance»: esto, escribió en 2007, constituye en Ruido Total.^[15.17] Hablaba de la sensación de ahogo y también de una pérdida de autonomía, de la responsabilidad personal de ser *informados*. Para seguir toda la información es necesario que dispongamos de agentes y subcontratistas.

Hay otra manera de hablar de la ansiedad, a saber, en términos de esa laguna que se produce entre información y conocimiento. Un aluvión de datos a menudo no consigue decirnos lo que debemos saber. Por su parte, el conocimiento de algo no garantiza nuestra iluminación ni nuestra sabiduría. (Eliot también lo dijo: «¿Dónde está la sabiduría que hemos perdido en conocimiento? / ¿Dónde está el conocimiento que hemos perdido en información?»). Se trata de una observación que viene de antiguo, pero que parecía necesario volver a manifestar cuando la información se hacía excesiva (especialmente en un mundo en el que todos los bits son creados iguales, e información no casa con significado). El humanista y filósofo de la tecnología Lewis Mumford, por ejemplo, volvió a manifestarla en 1970: «Por desgracia, la “recuperación de información”, por rápida que sea, no es un sustituto del descubrimiento —por inspección personal directa— de unos conocimientos de cuya mismísima existencia es probable que nunca hayamos sido conscientes, y su seguimiento —a nuestro propio ritmo— a través de ulteriores ramificaciones de la literatura pertinente».^[15.18] Rogaba encarecidamente que se recuperara «la autodisciplina moral». Hay un sentimiento de nostalgia en este tipo de advertencias, así como una verdad innegable, a saber, que en la búsqueda de conocimiento lo mejor probablemente sea no correr tanto. Investigar entre las estanterías llenas de libros de una antigua biblioteca tiene su propia recompensa. Leer —incluso hojear— un libro viejo puede reportarnos unos beneficios que no encontraremos buscando en una base de datos. La paciencia es una virtud, la gula un pecado.

Sin embargo, ni siquiera en 1970, Mumford estaba pensando en bases de datos o en alguna de las tecnologías electrónicas incipientes. Se lamentaba de «la multiplicación de microfilms». También se lamentaba del exceso de libros. Si no «nos imponemos unos límites», advertía, «el exceso de producción de libros dará lugar a un estado de enervación y agotamiento intelectual difícilmente

distinguible de la ignorancia masiva». No se pusieron límites. Los títulos siguieron proliferando. Los libros que hablaban de la sobrecarga de información se unieron al festín; Amazon.com, el sitio web en el que se venden libros online, no pretende resultar irónica cuando transmite mensajes como «Empiece a leer Data Smog en su Kindle en *un minuto*» o «¡Sorpréndeme! Lee una página al azar de este libro».

Las tecnologías de la comunicación electrónica llegaron con extrema rapidez, casi sin avisar. Según el Diccionario Oxford de la Lengua Inglesa, el término *e-mail* apareció impreso por primera vez en 1982, en la revista *Computerworld*, que apenas había leído algunos informes al respecto: «Se informa de que el ADR/Email es fácil de utilizar e incluye verbos sencillos en inglés y ventanas de diálogo». Al año siguiente, la revista *Infosystems* decía que el «Email promueve el movimiento de información a través del espacio». Y un año después, pero todavía una década antes de que la mayoría de la gente conociera el término, un informático teórico sueco, llamado Jacob Palme, del Centro de Computación QZ de Estocolmo, lanzó una advertencia profética; tan clara, precisa y minuciosa como cualquiera de las que se lanzarían durante las siguientes décadas. Palme empezaba diciendo que

el sistema de correo electrónico puede provocar, si es utilizado por mucha gente, graves problemas de sobrecarga de información. Este inconveniente se debe a que no resulta tan fácil enviar un mensaje a un número elevado de personas, y al hecho de que los sistemas suelen estar concebidos para proporcionar al remitente un excesivo control del proceso de comunicación, y al destinatario un control demasiado limitado [...]

La gente recibe demasiados mensajes, que no tiene tiempo de leer. Esta es también la razón de que los mensajes realmente importantes resulten difíciles de hallar en una gran marea de mensajes de menor importancia.

En el futuro, cuando los sistemas de mensaje se hagan cada vez más grandes y estén más y más interconectados entre sí, esto se convertirá en un problema para casi todos los usuarios de esos sistemas. [\[15.19\]](#)

Disponía de las estadísticas de su red local: un mensaje tardaba por término medio dos minutos y treinta y seis segundos en ser escrito y solo veintiocho segundos en ser leído; lo cual no habría estado mal de no ser por la excesiva facilidad con que la gente podía enviar un gran número de copias del mismo

mensaje.

Cuando los psicólogos y los sociólogos trataron de abordar el problema de la sobrecarga de información con los métodos de sus respectivas disciplinas, obtuvieron una mezcla de resultados. Ya en 1963, dos psicólogos intentaron cuantificar las consecuencias que tenía añadir información extraordinaria en el proceso de la diagnosis clínica.^[15.20] Como suponían, observaron que «demasiada información» —algo difícil de definir, como ellos mismos admitieron— contaminaba con frecuencia la valoración. Titularon su estudio «¿Sabemos a veces demasiadas cosas?», y con cierta malicia ofrecieron una lista de otros posibles títulos, como, por ejemplo, «Nunca tantos han hecho tan poco», «¿Conseguimos más, pero prediciéndolo menos?» y «El exceso de información es peligroso». Otros quisieron medir las consecuencias de una sobrecarga de información en la presión arterial, el ritmo cardiaco y la frecuencia respiratoria.

Otro estudioso del tema, Siegfried Streufert, indicó en una serie de artículos publicados en la década de los sesenta que la relación existente entre sobrecarga de información y manejo de información podía describirse invariablemente como una «U invertida»: al principio, más información resulta útil, luego comienza a resultar menos útil y, al final, acaba siendo perjudicial. En uno de sus estudios recurrió a la colaboración de ciento ochenta y cinco estudiantes universitarios (todos varones), que debían ponerse en la piel de un comandante tomando decisiones en un juego táctico. Les pidió lo siguiente:

La información que estáis recibiendo ha sido preparada para vosotros de la misma manera que habría sido preparada para un comandante real por un grupo de oficiales de inteligencia [...] Debéis indicar a estos oficiales de inteligencia si han de aumentar o reducir la información que os proporcionan [...] Por favor, marcad vuestra preferencia:

Preferiría:

- Recibir mucha más información.
- Recibir un poco más de información.
- Recibir más o menos la misma cantidad de información.
- Recibir un poco menos de información.
- Recibir mucha menos información.^[15.21]

Eligieran lo que eligieran, sus preferencias iban a ser ignoradas. El autor del experimento, no los sujetos, era quien predeterminaba la cantidad de información. Los datos obtenidos llevaron a Streufert a la conclusión de que una carga de información «superóptima» daba lugar a un funcionamiento deficiente, «aunque cabe señalar que incluso a una carga de información rotundamente superóptima (por ejemplo, veinticinco mensajes cada período de treinta minutos), los sujetos siguen solicitando niveles superiores de información». Más tarde, utilizaría una metodología similar para analizar las consecuencias de la ingesta excesiva de café.

En la década de los ochenta, los investigadores hablaban con seguridad del «paradigma de la carga de información».^[15.22] Se trataba de un paradigma basado en un tópico: que la gente solo puede «absorber» o «procesar» una cantidad limitada de información. Diversos investigadores consideraban que los excesos no solo causaban confusión y frustración, sino también una visión borrosa y falsedad. Los propios experimentos tenían que procesar numerosas opciones de información: mediciones de la capacidad de memoria, ideas de la capacidad del canal basadas en Shannon y variaciones de un factor, a saber, la relación señal-ruido. Una manera habitual, aunque dudosa, de enfocar las investigaciones era la introspección directa. En 1998, un pequeño proyecto tomó como «muestra» a un grupo de estudiantes de posgrado de Biblioteconomía y Ciencias de la Información de la Universidad de Illinois; cuando respondieron, todos coincidieron en decir que padecían de sobrecarga informativa, debido a «los e-mails, las reuniones, las listas de correo electrónico y los montones de documentos acumulados en las bandejas de entrada».^[15.23] La mayoría consideraba que el exceso de información tenía repercusiones negativas en su tiempo de ocio y en su trabajo. Algunos hablaron de fuertes dolores de cabeza. Una primera conclusión no definitiva: la sobrecarga de información es un hecho real; también es una «frase en clave» y un mito. Las investigaciones deben seguir.

Tener que pensar en la información como una carga resulta bastante confuso, dice Charles Bennett. «Pagamos para recibir los periódicos, no para que se los lleven.»^[15.24] Pero la termodinámica de la computación demuestra que el periódico de ayer ocupa un espacio que el demonio de Maxwell necesita para trabajar hoy, y la experiencia moderna nos enseña lo mismo. «Olvidar» solía

verse como una incapacidad, una merma, una señal de senilidad. Ahora presupone un esfuerzo. Puede llegar a ser tan importante como recordar.

Antes los hechos se valoraban; ahora carecen de valor. Antes, la gente consultaba inmediatamente las páginas del *Whitaker's Almanack*, publicado todos los años en Gran Bretaña, o del *World Almanac*, publicado en los Estados Unidos, para buscar los nombres y las fechas de reyes y presidentes, las tablas con los días de fiesta y las mareas altas, la superficie y la población de lugares lejanos, o los buques y los oficiales al mando de la Marina. A falta de uno de estos almanaques, o si se quería averiguar alguna otra cosa más difícil, es probable que se recurriera a uno de los hombres o mujeres con experiencia que atendían en las bibliotecas públicas. Cuando George Bernard Shaw necesitó saber la localización del crematorio más próximo —su esposa estaba agonizando—, fue a consultar el almanaque y se llevó un disgusto. «Acabo de encontrar una sorprendente omisión en el *Whitaker*», escribió al editor. «Como la razón de consultar su valioso almanaque es encontrar en él la información deseada, permítame sugerirle que sería muy de agradecer que añadieran la lista de los cincuenta y ocho crematorios actualmente en funcionamiento en el país, junto con las instrucciones de todo lo que hay que hacer.»^[15.25] Su carta tiene un tono irónico muy incisivo. No cita a su esposa —solo un «caso de grave enfermedad»—, y se define a sí mismo como un hombre «afligido en busca de información». Shaw tenía una dirección telegráfica y un teléfono, pero suponía que lo correcto era exponer los hechos por escrito.

Para muchos, el teléfono ya había comenzado a extender el alcance de la curiosidad. Los hombres y mujeres del siglo XX se dieron cuenta de que podían conocer al momento los resultados de los acontecimientos deportivos a los que no habían asistido; a tantos se les ocurrió la idea de telefonar a un periódico, que en 1929 *The New York Times* se vio obligado a publicar un aviso en primera página rogando a sus lectores que dejaran de hacerlo: «No soliciten por teléfono los resultados de las finales de la Liga de Béisbol.»^[15.26] Actualmente, la información en «tiempo real» está considerada un derecho de nacimiento.

¿Qué se hace cuando por fin se tiene todo? Daniel Dennett imaginaba —en 1990, justo antes de que Internet hiciera posible este sueño— que las redes

electrónicas podían acabar con la economía que se desarrolla alrededor de la edición de obras poéticas. En vez de publicar en papel libritos de pocas páginas, elegantes objetos especializados destinados a un mercado elitista, ¿qué ocurriría si los poetas pudieran publicar online, llegando inmediatamente no a cientos, sino a millones de lectores, y no a un precio de decenas de euros, sino tan solo de unos cuantos céntimos? Ese mismo año sir Charles Chadwyck-Healey, editor, concibió la Base de datos de Textos Completos de Poesía Inglesa mientras deambulaba un día por la Biblioteca Británica, y cuatro años más tarde la había convertido en realidad. No se trataba de poesía contemporánea o futura; era la poesía del pasado, y, en un primer momento, no la publicó online, sino en cuatro compact discs: un total de ciento sesenta y cinco mil poemas de mil doscientos cincuenta autores que abarcaban trece siglos, a un precio de cincuenta y un mil dólares estadounidenses. Los lectores y la crítica tuvieron que pensar qué iban a hacer con aquella publicación. Desde luego, no *leerla* como suele leerse un libro. Tal vez leer *en* ella. Consultarla, en busca de una palabra o un epígrafe o un fragmento recordado a medias.

Anthony Lane, mientras revisaba la base de datos para la revista *The New Yorker*, vio cómo su estado de ánimo iba pasando de la alegría a la desesperación, y viceversa. «Bajas la cabeza y te concentras, como un pianista que extiende sus dedos sobre las teclas de su piano, dispuesto a interpretar una pieza, sabiendo lo que te espera, y pensando, “¡Ah, la incalculable riqueza de la literatura inglesa! ¿Qué joyas ocultas desenterraré de las profundas minas de la creación humana?”»^[15.27] Luego vienen los versos macarrónicos, las paparruchadas, las pomposas grandilocuencias y la mediocridad. Una masa claramente desordenada comienza a agotarnos. No es que Lane parezca sentirse agotado. «¡Qué rollo, vaya montón de basura!», exclama, y se regocija en ello. «Nunca me he encontrado ante un homenaje tan espléndido al poder de la incompetencia humana, y, de paso, a las bendiciones del olvido humano». Dónde si no habría podido encontrar a un autor de todos olvidado como Thomas Freeman (no en Wikipedia) y el siguiente delicioso pareado en el que este poeta se comenta a sí mismo:

Huy, huy, creo escuchar a mi lector gritar,
Esto son coplas de ciego: yo lo voy a confesar.

Los CD-ROM ya son obsoletos. Toda la poesía inglesa está actualmente en la red, o si no toda, prácticamente toda, y la que no lo está actualmente, poco tardará.

El pasado se repliega como un acordeón en el presente. Los distintos medios de comunicación tienen distintos horizontes de sucesos —para la palabra escrita, tres mil años; para un sonido grabado, un siglo y medio—, y en su arco de tiempo lo antiguo resulta tan accesible como lo nuevo. Los periódicos amarillentos vuelven a cobrar vida. En secciones denominadas *Hace 50 años* o *Cien años atrás*, las publicaciones más veteranas reciclan sus archivos: recetas de cocina, técnicas de los juegos de naipes, ciencias, ecos de sociedad, un material cuya versión impresa había dejado de circular, y que ahora vuelve a estar a nuestro alcance. Las compañías discográficas rebuscan en sus altillos para lanzar, o volver a lanzar, todo tipo de piezas musicales, de rarezas, de canciones de Cara B y de grabaciones pirata. Durante un tiempo, los coleccionistas, los especialistas y los aficionados *tuvieron* sus libros y sus discos. Había una línea divisoria entre lo que tenían en posesión y lo que no. Para algunos, la música que poseían (o los libros, o los vídeos) se convertía en parte de lo que ellos mismos eran. Esa línea divisoria se va difuminando en la actualidad. La mayoría de las obras de Sófocles se han perdido, pero las que han llegado a nuestras manos están a nuestra disposición: basta apretar una tecla. Beethoven desconocía buena parte de las composiciones de Bach; nosotros tenemos a nuestro alcance toda su música: partitas, cantatas y hasta fragmentos de sus obras convertidos en tonos de llamada. Accedemos a ella al momento, o a la velocidad de la luz. Es un síntoma de omnisciencia. Es lo que el crítico Alex Ross denomina la Lista Discográfica Infinita, y él sabe ver sus pros y sus contras: «ansiedad en vez de plenitud, un ciclo adictivo de deseo y desgana. En cuanto comienza una experiencia te asalta la idea de qué otra cosa hay allí esperándote». La *embarras des richesses*. Un recordatorio más de que la información no es conocimiento, y el conocimiento no es sabiduría.

Hay estrategias para enfrentarse a todo ello. Aunque son muchas, en esencia se resumen en dos: filtrar y buscar. El atormentado consumidor de información recurre a los filtros para separar el trigo de la paja; los filtros incluyen blogs y

agregadores (la selección plantea cuestiones relacionadas con la fiabilidad y el criterio). La necesidad de filtros invade el terreno de cualquier experimento mental sobre las maravillas de una información abundante. Cuando Dennett imaginó su red de poesías, vio el problema: «La evidente contrahipótesis viene suscitada por la memética de la población», decía. «Si se creara una red como esa, ningún amante de la poesía estaría dispuesto a adentrarse en miles y miles de archivos electrónicos repletos de coplas de ciego, en busca de buenos poemas.»^[15.28] Serían necesarios los filtros (editores y críticos). «Prosperan debido a la escasez de recursos y la capacidad limitada de la mente, independientemente de los medios de transmisión que haya entre las mentes». Cuando la información es poca, la atención debe ser mucha.

Por la misma razón, los mecanismos de búsqueda —los *motores* del ciberespacio— encuentran agujas en pajares. Por ahora hemos aprendido que no basta que la información *exista*. Originalmente, en la Inglaterra del siglo XVI, un «archivo» era un hilo en el que podían ensartarse documentos, recibos, notas y cartas para su conservación y su consulta. Luego llegaron las carpetas, los compartimentos y los ficheros; más tarde los homónimos electrónicos de todos ellos, y la inevitable ironía. Según las estadísticas, es muy probable que una información, una vez «archivada», no vuelva a ser escrutada por el ojo humano. Ya en 1847 Augustus De Morgan, amigo de Babbage, era consciente de ello. Decía que, para un libro cualquiera, una biblioteca no era más que un almacén de papel de desecho. «Pensemos, por ejemplo, en la biblioteca del Museo Británico, con lo valiosa, útil y accesible que es: ¿qué probabilidades tiene un libro, por el mero hecho de estar allí, de que se sepa que se encuentra allí? Si alguien lo busca, pedirá por él; pero para que alguien lo busque, debe tener conocimiento de su existencia. Nadie puede recorrerse toda la biblioteca para explorarla.»^[15.29]

Demasiada información, y buena parte de ella perdida. Un sitio web sin referenciar se encuentra en el mismo limbo que el libro de una biblioteca colocado en una estantería equivocada. Por esta razón, las poderosas empresas comerciales de la economía de la información deben su éxito a los filtros y las búsquedas que las sustentan. Incluso Wikipedia es una combinación de ambos elementos: una búsqueda eficaz, realizada principalmente por Google, y un gran filtro de la colaboración, con el objetivo de compilar y mostrar los hechos verdaderos y localizar y descartar los falsos. Búsqueda y filtro son los recursos

que separan este mundo de la Biblioteca de Babel.

En sus encarnaciones informáticas estas estrategias parecen nuevas. Pero no lo son. De hecho, una parte considerable de la maquinaria de los medios de comunicación impresos —que ahora se dan por descontados, invisibles como el viejo fondo de escritorio— evolucionó en respuesta directa a la sensación de saciedad informativa. Son mecanismos de selección y clasificación: índices alfabéticos, críticas literarias, estructuras por secciones y ficheros como en una biblioteca, enciclopedias, antologías y recopilaciones, libros de citas y diccionarios geográficos. Cuando Robert Burton se explayaba hablando de «noticias nuevas todos los días», de «nuevas paradojas, opiniones, cismas, herejías, controversias filosóficas, religión, etcétera», intentaba justificar el gran proyecto de su vida, *Anatomía de la melancolía*, un confuso compendio de todo el saber conocido. Cuatro siglos antes, Vincent de Beauvais, fraile de la orden de los dominicos, intentó ofrecer su propia versión de todo el saber, creando una de las primeras enciclopedias medievales, *Speculum Maius*, «Espejo Mayor»: una colección de manuscritos organizados en ochenta libros, con un total de nueve mil ochocientos ochenta y cinco capítulos. Justificaba así su obra: «La infinidad de libros, la falta de tiempo y las limitaciones de la memoria impiden que nuestra mente pueda retener de la misma manera todo lo que se ha escrito».^[15.30] Ann Blair, profesora de la Universidad de Harvard, especialista en historia de la Europa de comienzos de la Edad Moderna, lo dice claramente: «la percepción de una sobreabundancia de libros impulsó la producción de muchos más libros».^[15.31] A su manera, también algunas ciencias naturales, como, por ejemplo, la botánica, aparecieron en respuesta a una sobrecarga de información. En el siglo XVI, la explosión de especies reconocidas (y de nombres) hizo imprescindible nuevas rutinas de descripciones estandarizadas. Aparecieron enciclopedias botánicas, con sus glosarios y sus índices. Brian Ogilvie considera que la historia de los botánicos renacentistas estuvo «impulsada y condicionada por la necesidad de controlar el exceso de información que ellos mismos habían producido inconscientemente».^[15.32] Crearon un «*confusio rerum*», dice, «acompañado de un *confusio verborum*». Una masa confusa de cosas nuevas; una confusión de términos. La historia natural nació para canalizar información.

Cuando las nuevas tecnologías de la información alteran el paisaje existente, provocan un caos: aparecen nuevos canales y diques para reconducir la corriente

que irriga y transporta. El equilibrio entre creadores y consumidores se ve afectado: autores y lectores, oradores y oyentes. Las fuerzas de mercado se confunden; la información puede parecer muy insignificante y muy valiosa a la vez. Los viejos sistemas de organización del conocimiento dejan de funcionar. ¿Quién se encargará de buscar? ¿Quién se encargará de filtrar? El caos da paso a una mezcla de esperanza y temor. En los primeros tiempos de la radio, Bertolt Brecht, esperanzado, temeroso y bastante obsesionado, expresó esa sensación de manera aforística: «Un hombre que tenga algo que contar y no encuentre a nadie dispuesto a escucharlo, mal lo tiene. Pero peor lo tienen los que están dispuestos a escuchar y no encuentran a nadie que tenga algo que decirles».^[15.33] El cálculo siempre varía. Preguntemos a blogueros y *tweeters*: ¿qué es peor, muchas bocas o muchos oídos?

EPÍLOGO

(El regreso del significado)

Era inevitable que el significado volviera a imponerse.^[E.1]

JEAN-PIERRE DUPUY (2000)

La fatiga, la sobrecarga y la tensión provocadas por la información han sido analizadas en los capítulos anteriores. A Marshall McLuhan debemos la siguiente observación efectuada en 1962:

En la actualidad nos hemos adentrado tanto en la era de la electricidad como los ingleses de la época isabelina en la era de la tipografía y la mecánica. Y estamos experimentando las mismas confusiones e indecisiones que ellos sintieron cuando vivían simultáneamente en dos formas contrapuestas de sociedad y experiencia.^[E.2]

Pero por mucho que parezca lo mismo, esta vez la cosa es distinta. Ahora ya han pasado cincuenta años, y podemos empezar a ver cuán grande es la escala y cuán fuertes son los efectos de la conexión.

Una vez más, como en los primeros tiempos del telégrafo, hablamos de la eliminación de espacio y tiempo. Para McLuhan, esto era un requisito ineludible de la creación de la consciencia global, del *conocimiento* global. «Actualmente», escribía, «hemos extendido nuestros sistemas nerviosos centrales hasta alcanzar una envergadura global, eliminando, en lo concerniente a nuestro planeta, espacio y tiempo. Con extrema rapidez nos acercamos a la fase final de la extensión del hombre, la simulación tecnológica de la consciencia, en la que el proceso creativo de la adquisición de conocimientos será extendido colectiva y corporativamente a toda la sociedad humana».^[E.3] Walt Whitman lo había

expresado mejor un siglo antes:

¿Qué murmullos son estos, oh, países, que se os adelantan, que circulan debajo de los mares?

¿Se unen íntimamente todas las naciones? ¿No va a haber sino un corazón para el mundo?^[E.4]

El cableado del mundo, al que seguiría la difusión de las comunicaciones inalámbricas, dio lugar a especulaciones románticas sobre el nacimiento de un nuevo organismo global. Ya en el siglo XIX, místicos y teólogos comenzaron a hablar de una mente compartida, de una conciencia colectiva, creada gracias a la colaboración de millones de individuos en comunicación unos con otros.^[E.5]

Algunos fueron muy lejos, llegando a considerar esta nueva criatura un producto natural de la evolución continuada (una manera del hombre de cumplir con su destino especial, después de que su ego hubiera quedado herido por el darwinismo). «Resulta absolutamente necesario», escribía en 1928 el filósofo francés Édouard Le Roy, «situar [al hombre] por encima del plano inferior de la naturaleza, en una posición que le permita dominarla». ¿Cómo? Pues creando la «noosfera», la esfera de la mente, una «mutación» crucial en la historia del evolucionismo.^[E.6] Su amigo, el filósofo Pierre Teilhard de Chardin, padre jesuita, hizo todavía más por difundir la idea de noosfera, que él denominaba una «nueva piel» de la tierra:

Si de verdad las palabras tienen un sentido, lo que está naciendo con sus extremidades, con su sistema nervioso, con sus centros de percepción y con su memoria, ¿no es como un gran cuerpo, es decir, el cuerpo mismo del gran Algo que debía llegar con el objeto de colmar las aspiraciones suscitadas por la conciencia en el ser reflexivo, conciencia adquirida recientemente de ser solidario y responsable de un Todo en evolución?^[E.7]

Incluso en francés esta observación resultaba sorprendente y profunda, pero las almas menos místicas la consideraron pura palabrería («absurda, adornada de una serie de tediosos conceptos metafísicos», comentó Peter Medawar);^[E.8] sin embargo, muchos estaban experimentando la misma idea, sobre todo los autores de relatos de ciencia ficción.^[E.9] Cincuenta años después, también sería del

agrado de los pioneros del mundo de Internet.

H. G. Wells es famoso por sus novelas de ciencia ficción, pero al final de su vida, en 1938, publicó una colección de ensayos de crítica social bajo el título de *World Brain*. No había nada de fantasioso en lo que pretendía promocionar: un sistema educativo mejorado para todo el «conjunto» de la humanidad. Abajo con ese batiburrillo de reinos taifas: «nuestras múltiples instituciones de poder descoordinadas, nuestra ineficaz mezcla de universidades, centros de investigación y literaturas especializadas».^[E.10] Arriba con «una opinión pública redimensionada y más poderosa». Ese «cerebro mundial» del que nos habla debía gobernar el planeta. «No queremos dictadores, no queremos grupos oligarcas ni sociedades clasistas, queremos una inteligencia mundial generalizada perfectamente consciente de sí misma». Wells pensaba que una nueva tecnología estaba preparada para revolucionar la producción y la distribución de información: el microfilm. Por menos de un penique por página, podían efectuarse diminutas imágenes de material impreso, y los bibliotecarios de Europa y los Estados Unidos se reunieron para discutir sobre la viabilidad de este proyecto durante el Congreso Mundial de Documentación Universal celebrado en París en 1937. Ante todo, se dieron cuenta de que sería necesario disponer de nuevos sistemas de clasificación de la literatura. El Museo Británico puso en marcha un plan para la microfilmación de cuatro mil de sus libros, seleccionados entre los de mayor antigüedad. Wells hizo el siguiente augurio: «Donde ahora solo hay uno, en unas cuantas décadas habrá miles de individuos encargados de ordenar y catalogar nuestros conocimientos».^[E.11] Reconocía que con sus palabras pretendía provocar y alimentar controversias. En representación de Inglaterra, participó en el congreso de París, donde predijo una «especie de cerebro para la humanidad, una corteza cerebral que constituirá la memoria y la percepción de la realidad existente para toda la especie humana».^[E.12] Pero lo que imaginaba, además de utópico, era algo mundano: una enciclopedia. Debía ser la heredera de las grandes enciclopedias nacionales —la enciclopedia francesa de Diderot, la *Enciclopedia Británica*, la *Konversations-Lexikon* alemana (aunque no citó la de China, los *Cuatro grandes libros de los Song*)— que habían estabilizado y equipado a «la inteligencia general».

Wells decía que esta nueva enciclopedia universal iba a trascender la forma estática del libro, impreso en volúmenes. Bajo la batuta de un equipo de sabios

(«un grupo de hombres muy importantes y distinguidos del nuevo mundo»), estaría sometida a constantes cambios, «una especie de centro mental de recopilación, almacenamiento y distribución de datos, un depósito en el que se reciben, se clasifican, se resumen, se organizan, se aclaran y se comparan conocimientos e ideas». ¿Quién sabe si Wells reconocería en Wikipedia su visión? No había espacio para una confusión de ideas contrapuestas. El «cerebro mundial» de Wells sería autoritario, pero no estaría centralizado.

No debe ser vulnerable, como lo es la cabeza o el corazón humano. Puede ser reproducido íntegramente con absoluta precisión tanto en Perú como en China, en Islandia, en África Central [...] Puede tener simultáneamente la concentración de un animal vertebrado y la vitalidad dispersiva de una ameba.

Por esta razón, añadía, «su forma debería ser la de una red».

No es la cantidad de conocimientos lo que hace que un cerebro sea un cerebro; tampoco la distribución de conocimientos. Lo que hace que un cerebro sea un cerebro es la interconexión. Cuando Wells recurre a la palabra *red* — término que, por cierto, le encantaba— esta tenía para él, como para cualquier individuo de la época, su significado físico original. Wells visualizaba hilos o cables entrelazados: «Una red de tallos maravillosamente trenzados y entrecruzados sin apenas hojas y flores»; «una intrincada red de hilos y cables». [E.13] Para nosotros ese significado se ha perdido prácticamente; una red es un objeto abstracto cuya competencia es la información.

El nacimiento de la teoría de la información supuso el cruel sacrificio del significado, la mismísima cualidad que da un valor y unos objetivos a la información. En su introducción a *La teoría matemática de la comunicación*, Shannon fue claro y directo. Dijo simplemente que el significado era «irrelevante para los problemas de ingeniería». Olvidémonos de la psicología humana; abandonemos la subjetividad.

Sabía que no sería fácil. Resultaba imposible negar que los mensajes podían tener significado, «esto es, hacen referencia a algo, o están correlacionados con este algo, según un sistema con unos entes físicos o conceptuales determinados». (Presumiblemente un «sistema con unos entes físicos o conceptuales

determinados» sería el mundo y su población, el reino, el poder y la gloria, amén). Para algunos, estas palabras simplemente no decían nada. Así lo dio a entender, por ejemplo, Heinz von Foerster en una de las primeras conferencias de cibernética, quejándose de que la teoría de la información solo hablaba de «*beep beeps*» [señales y pitidos], añadiendo que *solo* cuando el cerebro humano empieza a comprender, «nace la información; [la información] no está en los *beeps*». ^[E.14] Otros soñaban con extender la teoría de la información con un análogo semántico. El significado, como siempre, seguía siendo difícil de definir. «Yo sé de una región cerril», escribía Borges hablando de la Biblioteca de Babel, «cuyos bibliotecarios repudian la supersticiosa y vana costumbre de buscar sentido en los libros y la equiparan a la de buscarlo en los sueños o en las líneas caóticas de la mano». ^[E.15]

A los epistemólogos les interesaba el conocimiento, no los pitidos ni las señales. Ninguno se habría molestado en crear una filosofía de puntos y rayas o de bocanadas de humo o de impulsos eléctricos. El cometido de un ser humano —o, mejor dicho, de un «agente cognitivo»— es captar una señal y convertirla en información. «La belleza está en el ojo del que mira, y la información en la cabeza del que la recibe», dice Fred Dretske. ^[E.16] En cualquier caso, esta es una observación habitual en epistemología, en el sentido de que «damos significado a los estímulos, los cuales, si no fuera por eso, serían totalmente estériles desde el punto de vista informacional». Pero Dretske sostiene que diferenciar información de significado puede hacer libre al filósofo. Los ingenieros no solo han ofrecido una oportunidad; también han planteado un reto: comprender cómo puede evolucionar el significado; cómo la vida, que constantemente maneja y codifica información, avanza por el camino de la interpretación hasta llegar a creer y a saber.

Sin embargo, ¿a quién podía gustar una teoría que concede a los enunciados falsos el mismo valor que da a los verdaderos (al menos, en términos de cantidad de información)? Era algo mecánico. Era algo desapasionado. Desde una visión retrospectiva, un pesimista tal vez lo calificaría de presagio de los peores aspectos de un Internet sin alma. «Cuanto más nos “comunicamos” de la manera que lo hacemos, más contribuimos a crear un mundo infernal», decía el filósofo parisino, y también especialista en historia de la cibernética, Jean-Pierre Dupuy.

Digo «infierno» en su sentido teológico, esto es, un lugar carente de *gracia*: lo inmerecido, lo innecesario, lo sorprendente, lo imprevisto. Y aquí nos encontramos con una paradoja: el nuestro es un mundo del que pretendemos tener más y más información, pero que nos parece cada vez más y más carente de significado.^[E.17]

Ese mundo infernal, carente de gracia, ¿ha llegado ya? Un mundo de hambre y gula de información; de espejos convexos o cóncavos y textos espurios; de blogs difamatorios, de intolerancia anónima, de mensajes banales. Chateos constantes. Lo falso que va alejando lo verdadero.

Ese no es el mundo que yo veo.

Otrora se pensaba que una lengua perfecta debía tener una correspondencia precisa entre las palabras y sus significados. No cabían ambigüedades, indefiniciones ni confusiones. Nuestra Babel terrenal representa la decadencia del lenguaje perdido del Edén: una catástrofe y un castigo. «Imagino», escribe el novelista Dexter Palmer, «que los artículos del diccionario que se encuentra sobre la mesa del despacho de Dios deben tener correspondencias entre las palabras y sus definiciones, de modo que cuando Dios envía órdenes a sus ángeles, estas no presentan ambigüedades de ningún tipo. Cada frase que Él pronuncia o escribe tiene que ser perfecta y, por lo tanto, un milagro».^[E.18] En la actualidad lo tenemos más claro. Con o sin Dios, no hay ninguna lengua perfecta.

Leibniz consideraba que, si bien el lenguaje natural no podía ser perfecto, al menos el cálculo sí podía serlo: un lenguaje de símbolos rigurosamente asignados. «Todos los pensamientos humanos pueden resolverse íntegramente en un número reducido de pensamientos considerados primitivos.»^[E.19] En efecto, luego estos últimos podían ser combinados y analizados mecánicamente. «Una vez hecho esto, quien utilice ese tipo de caracteres o nunca cometerá un error o, como mínimo, tendrá la posibilidad de reconocer inmediatamente sus equivocaciones, utilizando la prueba más simple que existe». Gödel puso fin a este sueño.

Al contrario, la idea de la perfección se contradice con la naturaleza del lenguaje. La teoría de la información nos ha ayudado a comprender este hecho

(o, si se es pesimista, nos ha obligado a entenderlo). Y Palmer añade la siguiente observación:

Nos vemos obligados a entender que las palabras no son ideas por sí mismas sino una simple retahíla de marcas de tinta; comprobamos que los sonidos no son más que ondas. En una época moderna como la nuestra en la que no hay Autor alguno que nos observe desde el cielo, el lenguaje no es cosa de certezas rotundas, sino de posibilidades infinitas; sin la reconfortante ilusión del orden con sentido, no nos queda más remedio que contemplar cara a cara el desorden sin sentido; sin la sensación de que el significado puede ser cierto, nos vemos abrumados por todas las cosas que *pueden* significar las palabras.

Las posibilidades infinitas no son mala cosa, todo lo contrario. El desorden sin sentido hay que desafiarlo, no temerlo. El lenguaje establece un mundo ilimitado de objetos y de sensaciones, y de combinaciones de ambas cosas, en un espacio finito. El mundo cambia, combinando siempre lo estático con lo efímero, y sabemos perfectamente que el lenguaje cambia, no solo de una edición a otra del Diccionario Oxford de la Lengua Inglesa, sino también de un momento a otro, y de una persona a otra. Cada uno tiene su propio lenguaje. Podemos sentirnos abrumados o envalentonados.

Hoy día, cada vez más, los distintos diccionarios están —conservados— en la red, por mucho que cambien; podemos acceder a ellos y buscar en ellos. Del mismo modo, el conocimiento humano penetra en la red, en la nube. Los sitios web, los blogs, los motores de búsqueda y las enciclopedias, los analistas de leyendas urbanas y los que desacreditan a los analistas. Por todas partes, lo verdadero se codea con lo falso. Ninguna forma de comunicación digital se ha ganado tantos comentarios jocosos como el servicio llamado Twitter: la banalidad empaquetada, que induce a la trivialidad cuando limita todos los mensajes a ciento cuarenta caracteres. Haciendo gala de su gran ironía, el dibujante Garry Trudeau tuiteaba haciéndose pasar por un reportero imaginario que difícilmente podía dejar de consultar los mensajes que aparecían en Twitter para reunir información. Pero luego, los mensajes tuiteados por los testigos directos de los acontecimientos supusieron no solo información, sino también alivio, en una situación de emergencia como la que representaron los ataques terroristas perpetrados en Bombay en 2008, y también fueron los tuiteros de Teherán los que en 2009 hicieron visibles al mundo las protestas de los iraníes.

El aforismo es una forma con una honrosa historia. Personalmente, apenas tuiteo, pero incluso un medio tan curioso como Twitter, un servicio de microblogging sumamente peculiar y limitado, tiene su utilidad y su magia. En 2010, Margaret Atwood, maestra de una literatura de muchas más palabras, dijo haber sido «absorbida por la Twittersfera, como Alicia por la conejera».

¿Se trata de enviar señales, como el telégrafo? ¿Se trata de poesía zen? ¿Se trata de una serie de chistes garabateados en la pared de un lavabo? ¿Se trata de grabar un corazón en un árbol para decir que Juan ama a María? Digamos que se trata simplemente de comunicación, y comunicarse es algo que a los seres humanos les encanta hacer.^[E.20]

Poco después, la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos, fundada con el objetivo de reunir todos los libros publicados, decidió conservar también todos los comentarios. Posiblemente indecorosos, y probablemente redundantes, pero nunca se sabe. Constituyen una forma de comunicación humana.

Y la red ha aprendido unas cuantas cosas que ningún individuo habría podido saber nunca.

Identifica los discos compactos con grabaciones musicales comprobando la extensión de cada una de las piezas y consultando una enorme base de datos que se ha ido formando a lo largo de los años por acumulación, por las aportaciones compartidas de millones de usuarios anónimos. En 2007 esta base de datos reveló una cosa de la que no se habían percatado ni los críticos más distinguidos ni el público mejor preparado: que más de un centenar de grabaciones de interpretaciones musicales atribuidas a la difunta pianista inglesa Joyce Hatto — obras de Chopin, Beethoven, Mozart y Liszt, entre otros compositores— eran en realidad interpretaciones de otros pianistas. El MIT creó un Centro de Inteligencia Colectiva, dedicado a buscar «sabiduría de grupos» para «controlarla». Sigue siendo difícil determinar cuándo y cuánto hay que confiar en la *sabiduría de las masas*, título de un libro de James Surowiecki publicado en 2004, que no debe confundirse con la locura de las masas de la que habla Charles Mackay en un libro de crónicas aparecido en 1841, y en el que este autor declaraba que las personas «enloquecen en grupo, como un rebaño, pero recuperan la cordura lentamente, y una a una».^[E.21] Las masas se transforman en un abrir y cerrar de ojos en multitudes desaforadas, con unas manifestaciones

que le son muy propias: obsesiones, ideas evanescentes, linchamientos, *flashmobs*, cruzadas, histerias colectivas, mentalidad gregaria, «aborregamiento», conformismo, pensamiento de grupo; todos ellos fenómenos potencialmente magnificados por los efectos de la red, y estudiados bajo el nombre de cascadas de información. El criterio colectivo ofrece una serie de posibilidades sumamente atractivas; el autoengaño colectivo y la maldad colectiva ya cuentan, por desgracia, con un largo historial de devastación. Pero el conocimiento que circula por la red no tiene nada que ver con las decisiones de grupo basadas en la imitación de otras decisiones y en la repetición mecánica. Al parecer, se desarrolla mediante un proceso de acumulación; puede dar muchísimo crédito a peculiaridades y excepciones; el reto consiste en reconocerlo y acceder a él. En 2008, Google creó un primer sistema de alarma que indicaba las posibilidades de que estallara una epidemia de gripe en una zona determinada, basándose solo en datos tan aparentemente nimios como las búsquedas realizadas en la red de la palabra *gripe*; el sistema, por lo visto, advirtió de una serie de estallidos de esta enfermedad una semana antes de que lo hicieran los centros de control y prevención de la salud. Google funcionaba del siguiente modo: abordaba una serie de problemas difíciles habituales de la inteligencia artificial —traducción automática y reconocimiento de voz— no con la ayuda de expertos humanos, ni con diccionarios ni lingüistas, sino con su exhaustiva exploración de las búsquedas de cientos de millones de palabras realizadas en más de trescientas lenguas. Por esta razón, su manera inicial de enfocar las búsquedas por Internet se basó en el control de los conocimientos colectivos.

Veamos a continuación cómo podía ser el estado de una búsqueda en 1994. Nicholson Baker —que diez años más tarde llegaría a estar verdaderamente obsesionado con Wikipedia, pero que por aquel entonces era el principal defensor de la conservación de los catálogos de libros, de periódicos y de otros documentos de papel aparentemente en decadencia— se sentó ante un terminal en una biblioteca de la Universidad de California y escribió: NAVEGAR T[EMA] CENSURA.^[E.22] Recibió un mensaje de error:

BÚSQUEDA GENERAL: Su búsqueda consta de una o más palabras muy comunes, que coincidirán con más de 800 títulos, y tardará mucho tiempo en completarse.

Y una pequeña reprimenda:

Las búsquedas generales impiden que el sistema funcione a la velocidad adecuada, y con frecuencia no tienen resultados útiles. Por favor escriba AYUDA o acuda a un miembro de nuestro personal de consulta para que lo asista.

No había nada fuera de lo normal. Baker dominaba la sintaxis necesaria para realizar una búsqueda booleana con la ayuda de sus tres operadores lógicos, a saber, *AND* (y), *OR* (o) y *NOT* (no), pero de poco le sirvió. Habló de estudiar el síndrome visual informático, los errores de búsqueda y la sobrecarga de información, y defendió la teoría de que los catálogos electrónicos seguían, «de hecho, un programa de “condicionamiento operante aversivo”» ante una búsqueda online.

Veamos a continuación cómo era el estado de una búsqueda dos años más tarde, en 1996. En cada uno de estos dos años, el tráfico en Internet se había multiplicado por diez, pasando de veinte terabytes al mes en 1994, a doscientos terabytes al mes en 1995, y a dos petabytes en 1996. Los ingenieros de software del laboratorio de investigaciones de la Digital Equipment Corporation en Palo Alto, California, acababan de abrir al público un nuevo tipo de motor de búsqueda llamado AltaVista, que continuamente elaboraba y revisaba un índice de todas las páginas que podía encontrar en Internet (en aquel momento, decenas de millones). Una búsqueda con las palabras *verdad universalmente reconocida* y el nombre de *Darcy* dio cuatro mil resultados. Entre ellos, los siguientes:

- Texto completo, aunque no fiable, de *Orgullo y prejuicio*, en distintas versiones, almacenado en ordenadores de Japón, Suecia y otros lugares del mundo, descargable gratuitamente o, en un caso, al precio de \$2,25.
- Más de cien respuestas a la pregunta, «¿Por qué cruzo la carretera el pollo?», incluida la de «Jane Austin: Porque es una verdad universalmente reconocida que un pollo soltero poseedor de una gran fortuna que se encuentre ante una buena carretera, estará deseoso de cruzarla».
- La declaración de intenciones de la *Princeton Pacific Asia Review*: «La importancia estratégica del Pacífico asiático es una verdad universalmente reconocida...».

- Un artículo sobre la barbacoa de la Sociedad Vegetariana del Reino Unido: «Es una verdad universalmente reconocida entre los carnívoros que...».
- La página de inicio de Kevin Darcy, de Irlanda. La página de inicio de Darcy Cremer, de Wisconsin. La página de inicio y las imágenes de embarcaciones de Darcy Morse. Las características físicas de Tim Darcy, jugador de fútbol australiano. El currículum vitae de Darcy Hughes, un adolescente de catorce años que cuidaba jardines y hacía de canguro en la provincia canadiense de Columbia Británica.

Las banalidades no desmoralizaron a los compiladores de ese índice en constante desarrollo. Dichos compiladores eran perfectamente conscientes de la diferencia existente entre confeccionar el catálogo de una biblioteca —cuyo objetivo está claramente determinado, es bien sabido y tiene unos límites— y buscar una marea de información ilimitada. Creían que se encontraban ante algo grande. «Tenemos un diccionario con los términos del lenguaje habitual del mundo», diría Allan Jennings, gestor de proyecto.^[E.23]

Luego vino Google. En 1998, Brin y Page trasladaron su jovencísima empresa de su dormitorio en la Universidad de Stanford a unas oficinas. Su idea era que el ciberespacio poseía una forma de conocimiento de sí mismo, inherente a los enlaces existentes entre las distintas páginas, y que un motor de búsqueda podía aprovechar ese conocimiento. Como habían hecho anteriormente otros científicos, visualizaron Internet como un gráfico, con nodos y enlaces: a comienzos de 1998 había ciento cincuenta millones de nodos unidos por unos dos mil millones de enlaces. Consideraban cada uno de estos enlaces una expresión de valor, una recomendación. Y se dieron cuenta de que todos los enlaces no son iguales. Inventaron un sistema recursivo de calcular el valor: la categoría de una página depende del valor de sus enlaces externos; el valor de un enlace o vínculo depende de la categoría de la página en que se encuentra. No solo lo inventaron; también lo publicaron. Permitir que Internet conociera cómo funcionaba Google no perjudicó la capacidad que tenía Google de mejorar los conocimientos de Internet.

Por otro lado, la aparición de esta red de todas las redes comenzó a inspirar nuevos trabajos teóricos acerca de la topología de la interconexión en grandes sistemas. La ciencia de las redes tenía diversos orígenes y evolucionó siguiendo

diversos caminos, desde la matemática pura hasta la sociología, pero cristalizó en el verano de 1998, con la publicación de una carta de Duncan Watts y Steven Strogatz en la revista *Nature*. La carta en cuestión tenía tres puntos que se combinaban para convertirla en una verdadera sensación: un eslogan impactante, un buen resultado y una sorprendente variedad de aplicaciones. A todo ello contribuyó particularmente el hecho de que una de las aplicaciones fuera «Toda la gente del mundo». El eslogan era *mundo pequeño*. Cuando dos extraños descubren que tienen un amigo en común —una conexión inesperada—, suelen exclamar: «¡Qué pequeño es el mundo!», y era en este sentido en el que Watts y Strogatz hablaban de red de mundo pequeño.

La cualidad que define una red de mundo pequeño es la que supo captar de manera memorable el dramaturgo John Guare en una obra estrenada en 1990, *Seis grados de separación*. La explicación canónica es la siguiente:

Leí en alguna parte que en este planeta estamos todos separados únicamente por seis personas. Seis grados de separación. Entre nosotros y los demás seres humanos de este mundo. El presidente de los Estados Unidos. Un gondolero de Venecia. Vayan poniéndoles nombre. ^[E.24]

La idea se remonta a un experimento sobre redes sociales realizado en 1967 por un psicólogo de Harvard, Stanley Milgram, y, si vamos un poco más lejos, a la teoría propuesta por el escritor húngaro Frigyes Karinthy, en un cuento titulado *Láncszemek*, «Cadenas», publicado en 1929. ^[E.25] Watts y Strogatz se lo tomaron muy en serio: parece que es verdad, aunque vaya contra toda lógica, pues en los tipos de redes que estudiaban, los nodos solían formar grandes agrupamientos. Constituyen grupos cerrados. Un individuo puede conocer a muchas personas, que suelen ser sus vecinos —al menos en un espacio social, por no decir literalmente—, y que en su mayoría suelen conocer a la misma gente. En el mundo real, los agrupamientos están presentes en todas las redes complejas: las neuronas del cerebro, las epidemias de enfermedades infecciosas, las redes de suministro eléctrico, las grietas y los canales de las rocas petrolíferas. Agrupamiento solo significa fragmentación: el petróleo no fluye, las epidemias se extinguen poco a poco. Los extranjeros en tierras lejanas siguen siendo extraños.

Pero algunos nodos pueden tener enlaces lejanos, y otros pueden tener un

grado excepcional de conectividad. Lo que Watts y Strogatz descubrieron en sus modelos matemáticos es que basta un número extraordinariamente reducido de esas excepciones —solo unos pocos enlaces lejanos, incluso en una red muy densa— para conseguir que la separación media sea apenas perceptible y crear un mundo pequeño.^[E.26] Uno de sus casos de prueba era una epidemia global: «Se dice que las enfermedades infecciosas se expanden con mayor facilidad y rapidez en un mundo pequeño; la cuestión más alarmante, y menos evidente, es cuán reducido es el número de atajos necesario para hacer pequeño el mundo». ^[E.27] Con unos cuantos asistentes de vuelo sexualmente activos puede haber bastante.

En el ciberespacio, prácticamente todo está entre tinieblas. También prácticamente todo está conectado, y la conexión proviene de un número relativamente reducido de nodos, especialmente bien enlazados o especialmente bien acreditados. Sin embargo, una cosa es demostrar que un nodo está cerca de todos los demás nodos; esto no nos enseña a encontrar el camino que los une. Si el gondolero de Venecia no puede encontrar el camino que lo lleva al presidente de los Estados Unidos, la existencia matemática de su conexión tal vez le sirva de muy poco consuelo. John Guare también lo entendió así; la siguiente parte de su explicación de los *Seis grados de separación* suele citarse con menos frecuencia:

Me parece que para A) resulta tremendamente reconfortante que estemos tan cerca unos de otros, y que para B) esto es como la tortura de la gota china. Pues hay que encontrar a los seis individuos adecuados para efectuar la conexión.

Para esto no hay necesidad de recurrir a un algoritmo.

La red tiene una estructura, y esta estructura se sostiene sobre una paradoja. Simultáneamente, todo está cerca, y todo está lejos. Por esta razón el ciberespacio puede parecer no solo un lugar que está lleno, sino también un lugar solitario. Puedes tirar una piedra en el interior de un pozo, y no llegar nunca a escuchar ese chasquido que indica que ha llegado al agua.

Ningún *deus ex machina* aguarda entre bambalinas; no hay un hombre tras la cortina. No tenemos un demonio de Maxwell que nos ayude a filtrar y a buscar.

«¿Sabes? Queremos que el Demonio», decía Stanislaw Lem, «extraiga de ese baile de átomos solamente la información veraz, como, por ejemplo, teoremas matemáticos, revistas de moda, patrones, crónicas históricas, o una receta para preparar tortas de iones, o las maneras que hay de limpiar y planchar un traje de amianto, y también poesía, y consejos científicos, y almanaques, y calendarios, y documentos secretos, y cualquier cosa que se haya publicado en uno de los periódicos del Cosmos, y guías telefónicas del futuro».^[E.28] Como siempre, es la elección la que nos *informa* (en el sentido original de la palabra). Seleccionar lo veraz cuesta lo suyo; luego, olvidar cuesta todavía más. Esta es la maldición de la omnisciencia: podemos tocar con la punta de los dedos la respuesta a cualquier pregunta, ya sea a través de Google o de Wikipedia, ya sea a través de la IMDb o de Youtube, ya sea a través de Epicurious o de la Base Nacional de Datos de ADN o de cualquiera de sus herederos y sucesores naturales, que seguiremos preguntándonos qué es lo que sabemos.

Actualmente, todos somos patronos de la Biblioteca de Babel, y también somos los bibliotecarios. Pasamos de la euforia a la consternación, y viceversa. «Cuando se proclamó que la Biblioteca abarcaba todos los libros», nos cuenta Borges, «la primera impresión fue de extravagante felicidad. Todos los hombres se sintieron señores de un tesoro intacto y secreto. No había problema personal o mundial cuya elocuente solución no existiera: en algún hexágono. El universo estaba justificado».^[E.29] Luego vienen las lamentaciones. ¿Qué secretos esconden los libros preciosos que no podemos encontrar? ¿Qué secretos esconde el conocimiento absoluto, en su estática perfección? Borges muestra su preocupación: «La certidumbre de que todo está escrito nos anula o nos afantasma». Una preocupación a la que siglos antes John Donne ya había dado respuesta: «Aquel que anhele imprimir un libro debería anhelar mucho más ser un libro».^[E.30]

La biblioteca perdurará; es el universo. En cuanto a nosotros, todo no ha sido escrito; no estamos afantasmándonos. Recorremos los pasillos, buscando en las estanterías y reordenándolas, tratando de encontrar unas líneas con significado en medio de leguas y leguas de cacofonías e incoherencias, leyendo la historia del pasado y del futuro, compilando nuestros pensamientos y compilando los pensamientos ajenos, y de vez en cuando vislumbrando unos espejos en los que probablemente reconozcamos reflejadas a algunas criaturas de la información.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Charles H. Bennett, a Gregory J. Chaitin, a Neil J. A. Sloane, a Susanna Cuyler, a Betty Shannon, a Norma Barzman, a John Simpson, a Peter Gilliver, a Jimmy Wales, a Joseph Strauss, a Craig Townsend, a Janna Levin, a Katherine Bouton, a Dan Menaker, a Esther Schor, a Siobhan Roberts, a Douglas Hofstadter, a Martin Seligman, a Christopher Fuchs, al difunto John Archibald Wheeler, a Carol Hutchin... Betty Alexandra Toole; también a mi agente, Michael Carlisle, y como siempre a mi editor, Dan Frank, por su genialidad y por su inagotable paciencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Aaboe, Asger. *Episodes from the Early History of Mathematics*. Nueva York: L. W. Singer, 1963.
- Adams, Frederick. «The Informational Turn in Philosophy». *Minds and Machines* 13 (2003): 471-501.
- Allen, William, y Thomas R. H. Thompson. *A Narrative of the Expedition to the River Niger in 1841*. Londres: Richard Bentley, 1848.
- Archer, Charles Maybury (ed.). *The London Anecdotes: The Electric Telegraph*, vol. 1. Londres: David Bogue, 1848.
- Archibald, Raymond Clare. «Seventeenth Century Calculating Machines». *Mathematical Tables and Other Aids to Computation* 1:1 (1943): 27-28.
- Aspray, William. «From Mathematical Constructivity to Computer Science: Alan Turing, John Von Neumann, and the Origins of Computer Science in Mathematical Logic». Tesis doctoral, Universidad de Wisconsin-Madison, 1980.
- , «The Scientific Conceptualization of Information: A Survey». *Annals of the History of Computing* 7, n. 2 (1985): 117-140.
- Aunger, Robert (ed.). *Darwinizing Culture: The Status of Memetics as a Science*. Oxford: Oxford University Press, 2000.
- Avery, John. *Information Theory and Evolution*. Singapur: World Scientific, 2003.
- Baars, Bernard J. *The Cognitive Revolution in Psychology*. Nueva York: Guilford Press, 1986.
- Babbage, Charles. «On a Method of Expressing by Signs the Action of

- Machinery». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 116, n° 3 (1826): 250-265.
- , *Reflections on the Decline of Science in England and on Some of Its Causes*. Londres: B. Fellowes, 1830.
- , *Table of the Logarithms of the Natural Numbers, From 1 to 108,000*. Londres: B. Fellowes, 1831.
- , *On the Economy of Machinery and Manufactures*. 4^a ed. Londres: Charles Knight, 1835.
- , *The Ninth Bridgewater Treatise. A Fragment*. 2^a ed. Londres: John Murray, 1838.
- , *Passages from the Life of a Philosopher*. Londres: Longman, Green, Longman, Roberts, & Green, 1864.
- , *Charles Babbage and His Calculating Engines: Selected Writings*. Editado por Philip Morrison y Emily Morrison. Nueva York: Dover Publications, 1961.
- , *The Analytical Engine and Mechanical Notation*. Nueva York: New York University Press, 1989.
- , *The Difference Engine and Table Making*. Nueva York: New York University Press, 1989.
- , *The Works of Charles Babbage*. Editado por Martin Campbell-Kelly. Nueva York: New York University Press, 1989.
- Babbage, Henry Prevost (ed.). *Babbage's Calculating Engines: Being a Collection of Papers Relating to Them; Their History and Construction*. Londres: E. & F. N. Spon, 1889.
- Bairstow, Jeff. «The Father of the Information Age». *Laser Focus World* (2002): 114.

- Baker, Nicholson. *The Size of Thoughts: Essays and Other Lumber*. Nueva York: Random House, 1996.
- Ball, W. W. Rouse. *A History of the Study of Mathematics at Cambridge*. Cambridge: Cambridge University Press, 1889.
- Bar-Hillel, Yehoshua. «An Examination of Information Theory». *Philosophy of Science* 22, n° 2 (1955): 86-105.
- Barabási, Albert-László. *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science and Everyday Life*. Nueva York: Plume, 2003.
- Barnard, G. A. «The Theory of Information». *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 13, n° 1 (1951): 46-64.
- Baron, Sabrina Alcorn, Eric N. Lindquist, y Eleanor F. Shevlin. *Agent of Change: Print Culture Studies After Elizabeth L. Eisenstein*. Amherst: University of Massachusetts Press, 2007.
- Bartlett, C. J., y Calvin G. Green. «Clinical Prediction: Does One Sometimes Know Too Much». *Journal of Counseling Psychology* 13, n° 3 (1966): 267-270.
- Barwise, Jon. «Information and Circumstance». *Notre Dame Journal of Formal Logic* 27, n° 3 (1986): 324-338.
- Battelle, John. *The Search: How Google and Its Rivals Rewrote the Rules of Business and Transformed Our Culture*. Nueva York: Portfolio, 2005.
- Baugh, Albert C. *A History of the English Language*. 2ª ed. Nueva York: Appleton-Century-Crofts, 1957.
- Baum, Joan. *The Calculating Passion of Ada Byron*. Hamden, Conn.: Shoe String Press, 1986.
- Belot, Gordon, John Earman, y Laura Ruetsche. «The Hawking Information

Loss Paradox: The Anatomy of a Controversy». *British Journal for the Philosophy of Science* 50 (1999): 189-229.

Benjamin, Park. *A History of Electricity (the Intellectual Rise in Electricity) from Antiquity to the Days of Benjamin Franklin*. Nueva York: Wiley and Sons, 1898.

Bennett, Charles H. «On Random and Hard-to-Describe Numbers». IBM Watson Research Center Report RC 7483 (1979).

—, «The Thermodynamics of Computation - A Review». *International Journal of Theoretical Physics* 21, n° 12 (1982): 906-940.

—, «Dissipation, Information, Computational Complexity and the Definition of Organization». En *Emerging Syntheses in Science*, editado por D. Pines, 297-313. Santa Fé: Santa Fe Institute, 1985.

—, «Demons, Engines, and the Second Law». *Scientific American* 257, n° 5 (1987): 108-116.

—, «Logical Depth and Physical Complexity». En *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey*, editado por Rolf Herken. Oxford: Oxford University Press, 1988.

—, «How to Define Complexity in Physics, and Why». En *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*, editado por W. H. Zurek. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1990.

—, «Notes on the History of Reversible Computation». *IBM Journal of Research and Development* 44 (2000): 270-277.

—, «Notes on Landauer's Principle, Computation, and Maxwell's Demon». *arXiv:physics* 0210005 v2 (2003).

—, «Publicity, Privacy, and Permanence Information». En *Quantum Computing: Back Action 2006, AIP Conference Proceedings* 864, editado

- por Debabrata Goswami. Melville, N.Y.: American Institute of Physics, 2006.
- Bennett, Charles H., y Gilles Brassard. «Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing». En *Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing*, 175-179. Bangalore, India: 1984.
- Bennett, Charles H., Gilles Brassard, Claude Crépeau, Richard Jozsa, Asher Peres, y William K. Wootters. «Teleporting an Unknown Quantum State Via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels». *Physical Review Letters* 70 (1993): 1895.
- Bennett, Charles H., y Rolf Landauer. «Fundamental Physical Limits of Computation». *Scientific American* 253, n° 1 (1985): 48-56.
- Bennett, Charles H., Ming Li, y Bin Ma. «Chain Letters and Evolutionary Histories». *Scientific American* 288, n° 6 (junio de 2003): 76-81.
- Benzer, Seymour. «The Elementary Units of Heredity». En *The Chemical Basis of Heredity*, editado por W. D. McElroy y B. Glass, 70-93. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1957.
- Berlinski, David. *The Advent of the Algorithm: The Idea That Rules the World*. Nueva York: Harcourt, 2000.
- Bernstein, Jeremy. *The Analytical Engine: Computers-Past, Present and Future*. Nueva York: Random House, 1963.
- Bikhchandani, Sushil, David Hirshleifer, e Ivo Welch. «A Theory of Fads, Fashion, Custom, and Cultural Change as Informational Cascades». *Journal of Political Economy* 100, n° 5 (1992): 992-1026.
- Blackmore, Susan. *The Meme Machine*. Oxford: Oxford University Press, 1999.

- Blair, Ann. «Reading Strategies for Coping with Information Overload ca. 1550-1700». *Journal of the History of Ideas* 64, n° 1 (2003): 11-28.
- Blohm, Hans, Stafford Beer, y David Suzuki. *Pebbles to Computers: The Thread*. Toronto: Oxford University Press, 1986.
- Boden, Margaret A. *Mind as Machine: A History of Cognitive Science*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- Bollobás, Béla, y Oliver Riordan. *Percolation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- Bolter, J. David. *Turing's Man: Western Culture in the Computer Age*. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1984.
- Boole, George. «The Calculus of Logic». *Cambridge and Dublin Mathematical Journal* 3 (1848): 183-198.
- , *An Investigation of the Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*. Londres: Walton & Maberly, 1854.
- , *Studies in Logic and Probability*, vol. 1. La Salle, Ill.: Open Court, 1952.
- Borges, Jorge Luis. *Labyrinths: Selected Stories and Other Writings*. Nueva York: New Directions, 1962.
- Bouwmeester, Dik, Jian-Wei Pan, Klaus Mattle, Manfred Eibl, Harald Weinfurter, y Anton Zeilinger. «Experimental Quantum Teleportation». *Nature* 390 (11 de diciembre de 1997): 575-579.
- Bowden, B. V. (ed.). *Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines*. Nueva York: Pitman, 1953.
- Braitenberg, Valentino. *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1984.

- Brewer, Charlotte. «Authority and Personality in the *Oxford English Dictionary*». *Transactions of the Philological Society* 103, nº 3 (2005): 261-301.
- Brewster, David. *Letters on Natural Magic*. Nueva York: Harper & Brothers, 1843.
- Brewster, Edwin Tenney. *A Guide to Living Things*. Garden City, N.Y.: Doubleday, 1913.
- Bridenbaugh, Carl. «The Great Mutation». *American Historical Review* 68, nº 2 (1963): 315-331.
- Briggs, Henry. *Logarithmicall Arithmetike: Or Tables of Logarithmes for Absolute Numbers from an Unite to 100000*. Londres: George Miller, 1631.
- Brillouin, Léon. *Science and Information Theory*. Nueva York: Academic Press, 1956.
- Broadbent, Donald E. *Perception and Communication*. Oxford: Pergamon Press, 1958.
- Bromley, Allan G. «The Evolution of Babbage's Computers». *Annals of the History of Computing* 9 (1987): 113-136.
- Brown, John Seely, y Paul Duguid. *The Social Life of Information*. Boston: Harvard Business School Press, 2002.
- Browne, Thomas. *Pseudoxia Epidemica: Or, Enquiries into Very Many Received Tenents, and Commonly Presumed Truths*. 3ª ed. Londres: Nath. Ekins, 1658.
- Bruce, Robert V. *Bell: Alexander Graham Bell and the Conquest of Solitude*. Boston: Little, Brown, 1973.
- Buckland, Michael K. «Information as Thing». *Journal of the American Society for Information Science* 42 (1991): 351-360.

- Burchfield, R. W., y Hans Aarsleff. *Oxford English Dictionary and the State of the Language*. Washington, D.C.: Library of Congress, 1988.
- Burgess, Anthony. *But Do Blondes Prefer Gentlemen? Homage to Qwert Yuiop and Other Writings*. Nueva York: McGraw-Hill, 1986.
- Bush, Vannevar. «As We May Think». *The Atlantic*, julio de 1945.
- Butler, Samuel. *Life and Habit*. Londres: Trübner & Co, 1878.
- , *Essays on Life, Art, and Science*. Editado por R. A. Streatfeild. Port Washington, N.Y.: Kennikat Press, 1970.
- Buxton, H. W., y Anthony Hyman. *Memoir of the Life and Labours of the Late Charles Babbage Esq., F.R.S.* Vol. 13 de las «Charles Babbage Institute Reprint Series for the History of Computing». Cambridge, Mass.: MIT Press, 1988.
- Calude, Cristian S. *Information and Randomness: An Algorithmic Perspective*. Berlín: Springer, 2002.
- Calude, Cristian S., y Gregory J. Chaitin. *Randomness and Complexity: From Leibniz to Chaitin*. Singapur, Hackensack, N.J.: World Scientific, 2007.
- Campbell-Kelly, Martin. «Charles Babbage's Table of Logarithms (1827)». *Annals of the History of Computing* 10 (1988): 159-169.
- Campbell-Kelly, Martin, y William Aspray. *Computer: A History of the Information Machine*. Nueva York: Basic Books, 1996.
- Campbell-Kelly, Martin, Mary Croarken, Raymond Flood, y Eleanor Robson (eds.). *The History of Mathematical Tables: From Sumer to Spreadsheets*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- Campbell, Jeremy. *Grammatical Man: Information, Entropy, Language, and Life*. Nueva York: Simon & Schuster, 1982.

- Campbell, Robert V. D. «Evolution of Automatic Computation». En *Proceedings of the 1952 ACM National Meeting (Pittsburgh)*, 29-32. Nueva York: ACM, 1952.
- Carr, Nicholas. *The Big Switch: Rewiring the World, from Edison to Google*. Nueva York: Norton, 2008.
- , *The Shallows: What the Internet Is Doing to Our Brains*. Nueva York: Norton, 2010.
- Carrington, John F. *A Comparative Study of Some Central African Gong-Languages*. Bruselas: Falk, G. van Campenhout, 1949.
- , *The Talking Drums of Africa*. Londres: Carey Kingsgate, 1949.
- , *La Voix des tambours: comment comprendre le langage tambouriné d’Afrique*. Kinshasa: Centre Protestant d’Éditions et de Diffusion, 1974.
- Casson, Herbert N. *The History of the Telephone*. Chicago: A. C. McClurg, 1910.
- Cawdrey, Robert. *A Table Alphabeticall of Hard Usual English Words (1604); the First English Dictionary*. Gainesville, Fla.: Scholars’ Facsimiles & Reprints, 1966.
- Ceruzzi, Paul. *A History of Modern Computing*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2003.
- Chaitin, Gregory J. «On the Length of Programs for Computing Finite Binary Sequences». *Journal of the Association for Computing Machinery* 13 (1966): 547-569.
- , «Information-Theoretic Computational Complexity». *IEEE Transactions on Information Theory* 20 (1974): 10-15.
- , *Information, Randomness & Incompleteness: Papers on Algorithmic Information Theory*. Singapur: World Scientific, 1987.

- , *Algorithmic Information Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- , *At Home in the Universe*. Woodbury, N.Y.: American Institute of Physics, 1994.
- , *Conversations with a Mathematician*. Londres: Springer, 2002.
- , *Meta Math: The Quest for Omega*. Nueva York: Pantheon, 2005.
- , «The Limits of Reason». *Scientific American* 294, nº 3 (marzo de 2006): 74.
- , *Thinking About Gödel and Turing: Essays on Complexity, 1970-2007*. Singapur: World Scientific, 2007.
- Chandler, Alfred D., y Cortada, James W. (eds.). «A Nation Transformed By Information: How Information Has Shaped the United States from Colonial Times to the Present». (2000).
- Chentsov, Nicolai N. «The Unfathomable Influence of Kolmogorov». *The Annals of Statistics* 18, nº 3 (1990): 987-998.
- Cherry, E. Colin. «A History of the Theory of Information». *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory* 1, nº 1 (1953): 22-43.
- , *On Human Communication*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1957.
- Chomsky, Noam. «Three Models for the Description of Language». *IRE Transactions on Information Theory* 2, nº 3 (1956): 113-124.
- , *Reflections on Language*. Nueva York: Pantheon, 1975.
- Chrisley, Ronald (ed.). *Artificial Intelligence: Critical Concepts*. Londres: Routledge, 2000.
- Church, Alonzo. «On the Concept of a Random Sequence». *Bulletin of the American Mathematical Society* 46, nº 2 (1940): 130-135.

- Churchland, Patricia S., y Terrence J. Sejnowski. *The Computational Brain*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1992.
- Cilibrasi, Rudi, y Paul Vitanyi. «Automatic Meaning Discovery Using Google». *arXiv:cs.CL/0412098 v2*, 2005.
- Clanchy, M. T. *From Memory to Written Record, England, 1066-1307*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1979.
- Clarke, Roger T. «The Drum Language of the Tumba People». *American Journal of Sociology* 40, n° 1 (1934): 34-48.
- Clayton, Jay. *Charles Dickens in Cyberspace: The Afterlife of the Nineteenth Century in Postmodern Culture*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- Clerke, Agnes M. *The Herschels and Modern Astronomy*. Nueva York: Macmillan, 1895.
- Coe, Lewis. *The Telegraph: A History of Morse's Invention and Its Predecessors in the United States*. Jefferson, N. C.: McFarland, 1993.
- Colton, F. Barrows. «The Miracle of Talking by Telephone». *National Geographic* 72 (1937): 395-433.
- Conway, Flo, y Jim Siegelman. *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics*. Nueva York: Basic Books, 2005.
- Cooke, William Fothergill. *The Electric Telegraph: Was It Invented by Professor Wheatstone?* Londres: W. H. Smith & Son, 1857.
- Coote, Edmund. *The English Schoole-maister*. Londres: Ralph Jackson & Robert Dexter, 1596.
- Cordeschi, Roberto. *The Discovery of the Artificial: Behavior, Mind, and Machines Before and Beyond Cybernetics*. Dordrecht, Holanda: Springer, 2002.

- Cortada, James W. *Before the Computer*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1993.
- Cover, Thomas M., Peter Gacs, y Robert M. Gray. «Kolmogorov's Contributions to Information Theory and Algorithmic Complexity». *The Annals of Probability* 17, n° 3 (1989): 840-865.
- Craven, Kenneth. *Jonathan Swift and the Millennium of Madness: The Information Age in Swift's Tale of a Tub*. Leiden, Holanda: E. J. Brill, 1992.
- Crick, Francis. «On Protein Synthesis». *Symposium of the Society for Experimental Biology* 12 (1958): 138-163.
- , «Central Dogma of Molecular Biology». *Nature* 227 (1970): 561-563.
- , *What Mad Pursuit*. Nueva York: Basic Books, 1988.
- Croarken, Mary. «Tabulating the Heavens: Computing the Nautical Almanac in 18th-Century England». *IEEE Annals of the History of Computing* 25, n° 3 (2003): 48-61.
- , «Mary Edwards: Computing for a Living in 18th-Century England». *IEEE Annals of the History of Computing* 25, n° 4 (2003): 9-15.
- Crowley, David, y Paul Heyer (eds.). *Communication in History: Technology, Culture, Society*. Boston: Allyn and Bacon, 2003.
- Crowley, David, y David Mitchell (eds.). *Communication Theory Today*. Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1994.
- Daly, Lloyd W. *Contributions to a History of Alphabeticization in Antiquity and the Middle Ages*. Bruselas: Latomus, 1967.
- Danielsson, Ulf H., y Marcelo Schiffer. «Quantum Mechanics, Common Sense, and the Black Hole Information Paradox». *Physical Review D* 48, n° 10 (1993): 4779-4784.

- Darrow, Karl K. «Entropy». *Proceedings of the American Philosophical Society* 87, nº 5 (1944): 365-367.
- Davis, Martin. *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*. Nueva York: Norton, 2000.
- Dawkins, Richard. «In Defence of Selfish Genes». *Philosophy* 56, nº 218 (1981): 556-573.
- , *The Blind Watchmaker*. Nueva York: Norton, 1986.
- , *The Extended Phenotype*. Edición revisada. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- , *The Selfish Gene*. Edición del XXX aniversario. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- De Chadarevian, Soraya. «The Selfish Gene at 30: The Origin and Career of a Book and Its Title». *Notes and Records of the Royal Society* 61 (2007): 31-38.
- De Morgan, Augustus. *Arithmetical Books: From the Invention of Printing to the Present Time*. Londres: Taylor & Walton, 1847.
- De Morgan, Sophia Elizabeth. *Memoir of Augustus De Morgan*. Londres: Longmans, Green, 1882.
- Delbrück, Max. «A Physicist Looks at Biology». *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 38 (1949): 173-190.
- Delius, Juan D. «Of Mind Memes and Brain Bugs, a Natural History of Culture». En *The Nature of Culture*, Walter A. Koch (ed.). Bochum, Alemania: Bochum, 1989.
- Denbigh, K. G., y J. S. Denbigh. *Entropy in Relation to Incomplete Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

Dennett, Daniel C. «Mememes and the Exploitation of Imagination». *Journal of Aesthetics and Art Criticism* 48 (1990): 127-135.

—, *Consciousness Explained*. Boston: Little, Brown, 1991.

—, *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. Nueva York: Simon & Schuster, 1995.

—, *Brainchildren: Essays on Designing Minds*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1998.

Desmond, Adrian, and James Moore. *Darwin*. Londres: Michael Joseph, 1991.

Díaz Vera, Javier E. *A Changing World of Words: Studies in English Historical Lexicography, Lexicology and Semantics*. Ámsterdam: Rodopi, 2002.

Dilts, Marion May. *The Telephone in a Changing World*. Nueva York: Longmans, Green, 1941.

Diringer, David, y Reinhold Regensburger. *The Alphabet: A Key to the History of Mankind*. 3ª ed. Nueva York: Funk & Wagnalls, 1968.

Dretske, Fred I. *Knowledge and the Flow of Information*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1981.

Duane, Alexander. «Sight and Signalling in the Navy». *Proceedings of the American Philosophical Society* 55, nº 5 (1916): 400-414.

Dubbey, J. M. *The Mathematical Work of Charles Babbage*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.

Dupuy, Jean-Pierre. *The Mechanization of the Mind: On the Origins of Cognitive Science*. Trad. al inglés de M. B. DeBevoise. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2000.

Dyson, George B. *Darwin Among the Machines: The Evolution of Global Intelligence*. Cambridge, Mass.: Perseus, 1997.

- Eco, Umberto. *The Search for the Perfect Language*. Trad. al inglés de James Fentress. Malden, Mass.: Blackwell, 1995.
- Edwards, P. N. *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1996.
- Eisenstein, Elizabeth L. «Clio and Chronos: An Essay on the Making and Breaking of History-Book Times». En *History and Theory* supl. 6: «History and the Concept of Time» (1966): 36-64.
- , *The Printing Press as an Agent of Change: Communications and Cultural Transformations in Early-Modern Europe*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.
- Ekert, Artur. «Shannon's Theorem Revisited». *Nature* 367 (1994): 513-514.
- , «From Quantum Code-Making to Quantum Code-Breaking». *arXiv:quantph/9703035 v1*, 1997.
- Elias, Peter. «Two Famous Papers». *IRE Transactions on Information Theory* 4, n° 3 (1958): 99.
- Emerson, Ralph Waldo. *Society and Solitude*. Boston: Fields, Osgood, 1870.
- Everett, Edward. «The Uses of Astronomy». En *Orations and Speeches on Various Occasions*, 422-465. Boston: Little, Brown, 1870.
- Fahie, J. J. *A History of Electric Telegraphy to the Year 1837*. Londres: E. & F. N. Spon, 1884.
- Fauvel, John, y Jeremy Gray. *The History of Mathematics: A Reader*. Mathematical Association of America, 1997.
- Feferman, Solomon (ed.). *Kurt Gödel: Collected Works*. Nueva York: Oxford University Press, 1986.
- Feynman, Richard P. *The Character of Physical Law* Nueva York: Modern

- Library, 1994.
- , *Feynman Lectures on Computation*. Anthony J. G. Hey and Robin W. Allen (eds.). Boulder, Colo.: Westview Press, 1996.
- Finnegan, Ruth. *Oral Literature in Africa*. Oxford: Oxford University Press, 1970.
- Fischer, Claude S. *America Calling: A Social History of the Telephone to 1940*. Berkeley: University of California Press, 1992.
- Ford, Joseph. «Directions in Classical Chaos». En *Directions in Chaos*, Hao Bai-lin (ed.). Singapur: World Scientific, 1987.
- Franksen, Ole I. «Introducing “Mr. Babbage’s Secret”». *APL Quote Quad* 15, n° 1 (1984): 14-17.
- Friedman, William F. «Edgar Allan Poe, Cryptographer». *American Literature* 8, n° 3 (1936): 266-280.
- Fuchs, Christopher A. «Notes on a Paulian Idea: Foundational, Historical, Anecdotal and Forward-Looking Thoughts on the Quantum». *arXiv: quantph/0105039*, 2001.
- , «Quantum Mechanics as Quantum Information (and Only a Little More)», 2002. *arXiv: quant-ph/0205039 v1*, 8 de mayo de 2001.
- , «QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism», *arXiv: quant-ph/1003.5209 vi*, 2010.
- , *Coming of Age with Quantum Information: Notes on a Paulian Idea*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press, 2010.
- Galison, Peter. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago: University of Chicago Press, 1997.
- Gallager, Robert G. «Claude E. Shannon: A Retrospective on His Life, Work,

- and Impact». *IEEE Transactions on Information* 47, n° 7 (2001): 2681-2695.
- Gamow, George. «Possible Relation Between Deoxyribonucleic Acid and Protein Structures». *Nature* 173 (1954): 318.
- , «Information Transfer in the Living Cell». *Scientific American* 193, n° 10 (octubre de 1955): 70.
- Gardner, Martin. *Hexaflexagons and Other Mathematical Diversions*. Chicago: University of Chicago Press, 1959.
- , *Martin Gardner's Sixth Book of Mathematical Games from Scientific American*. San Francisco: W. H. Freeman, 1963.
- Gasser, James (ed.). *A Boole Anthology: Recent and Classical Studies in the Logic of George Boole*. Dordrecht, Holanda: Kluwer, 2000.
- Gell-Mann, Murray, y Seth Lloyd. «Information Measures, Effective Complexity, and Total Information». *Complexity* 2, n° 1 (1996): 44-52.
- Genosko, Gary. *Marshall McLuhan: Critical Evaluations in Cultural Theory*. Abingdon, U.K.: Routledge, 2005.
- Geoghegan, Bernard Dionysius. «The Historiographic Conceptualization of Information: A Critical Survey». *Annals of the History of Computing* (2008): 66-81.
- Gerovitch, Slava. *From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2002.
- Gilbert, E. N. «Information Theory After 18 Years». *Science* 152, n° 3720 (1966): 320-326.
- Gilder, Louisa. *The Age of Entanglement: When Quantum Physics Was Reborn*. Nueva York: Knopf, 2008.

- Gilliver, Peter, Jeremy Marshall, y Edmund Weiner. *The Ring of Words: Tolkien and the Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- Gitelman, Lisa, y Geoffrey B. Pingree (eds.). *New Media 1740-1915*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2003
- Glassner, Jean-Jacques. *The Invention of Cuneiform*. Trad. al inglés y editado por Zainab Bahrani y Marc Van De Mieroop. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2003
- Gleick, James. *Chaos: Making a New Science*. Nueva York: Viking, 1987.
- , «The Lives They Lived: Claude Shannon, B. 1916; Bit Player». *New York Times Magazine*, 30 de diciembre de 2001, 48.
- , *What Just Happened: A Chronicle from the Information Frontier*. Nueva York: Pantheon, 2002.
- Gödel, Kurt. «Russell's Mathematical Logic» (1944). En *Kurt Gödel: Collected Works*, editado por Solomon Feferman, vol. 2, 119. Nueva York: Oxford University Press, 1986.
- Goldsmid, Frederic John. *Telegraph and Travel: A Narrative of the Formation and Development of Telegraphic Communication Between England and India, Under the Orders of Her Majesty's Government, With Incidental Notices of the Countries Traversed By the Lines*. Londres: Macmillan, 1874.
- Goldstein, Rebecca. *Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel*. Nueva York: Atlas, 2005.
- Goldstine, Herman H. «Information Theory». *Science* 133, n° 3462 (1961): 1395-1399.
- , *The Computer: From Pascal to Von Neumann*. Princeton, N.J.: Princeton

- University Press, 1973.
- Goodwin, Astley J. H. *Communication Has Been Established*. Londres: Methuen, 1937.
- Goody, Jack. *The Domestication of the Savage Mind*. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.
- , *The Interface Between the Written and the Oral*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- Goody, Jack, & Ian Watt. «The Consequences of Literacy». *Comparative Studies in Society and History* 5, nº 3 (1963): 304-345.
- Goonatilake, Susantha. *The Evolution of Information: Lineages in Gene, Culture and Artefact*. Londres: Pinter, 1991.
- Gorman, Michael E. *Transforming Nature: Ethics, Invention and Discovery*. Boston: Kluwer Academic, 1998.
- Gould, Stephen Jay. *The Panda's Thumb*. Nueva York: Norton, 1980.
- , «Humbled by the Genome's Mysteries». *The New York Times*, 19 de febrero de 2001.
- Grafen, Alan, y Mark Ridley (eds.). *Richard Dawkins: How a Scientist Changed the Way We Think*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- Graham, A. C. *Studies in Chinese Philosophy and Philosophical Literature*. Vol. SUNY Series in Chinese Philosophy and Culture. Albany: State University of New York Press, 1990.
- Green, Jonathon. *Chasing the Sun: Dictionary Makers and the Dictionaries They Made*. Nueva York: Holt, 1996.
- Gregersen, Niels Henrik (ed.). *From Complexity to Life: On the Emergence of Life and Meaning*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

- Griffiths, Robert B. «Nature and Location of Quantum Information». *Physical Review A* 66 (2002): 012311-1.
- Grünwald, Peter, y Paul Vitányi. «Shannon Information and Kolmogorov Complexity», *arXiv:cs.IT/0410002 v1*, 8 de agosto de 2005.
- Guizzo, Eric Mariu. «The Essential Message: Claude Shannon and the Making of Information Theory». Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, septiembre de 2003.
- Gutfreund, H., y G. Toulouse. *Biology and Computation: A Physicist's Choice*. Singapur: World Scientific, 1994.
- Hailperin, Theodore. «Boole's Algebra Isn't Boolean Algebra». *Mathematics Magazine* 54, n° 4 (1981): 172-184.
- Halstead, Frank G. «The Genesis and Speed of the Telegraph Codes». *Proceedings of the American Philosophical Society* 93, n° 5 (1949): 448-458.
- Halverson, John. «Goody and the Implosion of the Literacy Thesis». *Man* 27, n° 2 (1992): 301-317.
- Harlow, Alvin F. *Old Wires and New Waves*. Nueva York: D. Appleton-Century, 1936.
- Harms, William F. «The Use of Information Theory in Epistemology». *Philosophy of Science* 65, n° 3 (1998): 472-501.
- Harris, Roy. *Rethinking Writing*. Bloomington: Indiana University Press, 2000.
- Hartley, Ralph V. L. «Transmission of Information». *Bell System Technical Journal* 7 (1928): 535-563.
- Havelock, Eric A. *Preface to Plato*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1963.

—, *The Muse Learns to Write: Reflections on Orality and Literacy from Antiquity to the Present*. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1986.

Havelock, Eric Alfred, y Jackson P. Hershbell. *Communication Arts in the Ancient World*. Nueva York: Hastings House, 1978.

Hawking, Stephen. *God Created the Integers: The Mathematical Breakthroughs That Changed History*. Filadelfia: Running Press, 2005.

—, «Information Loss in Black Holes». *Physical Review D* 72, arXiv:hep-th/0507171v2, 2005.

Hayles, N. Katherine. *How We Became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

Headrick, Daniel R. *When Information Came of Age: Technologies of Knowledge in the Age of Reason and Revolution, 1700-1850*. Oxford: Oxford University Press, 2000.

Heims, Steve J. *John Von Neumann and Norbert Wiener*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1980.

—, *The Cybernetics Group*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1991.

Herken, Rolf (ed.). *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey*. Viena: Springer-Verlag, 1995.

Hey, Anthony J. G. (ed.). *Feynman and Computation*. Boulder, Colo.: Westview Press, 2002.

Hobbes, Thomas *Leviathan, or, the Matter, Forme, and Power of a Commonwealth, Ecclesiastical and Civill*. Londres: Andrew Crooke, 1660.

Hodges, Andrew. *Alan Turing: The Enigma*. Londres: Vintage, 1992.

Hofstadter, Douglas R. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. Nueva

- York: Basic Books, 1979.
- , *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern*. Nueva York: Basic Books, 1985.
- , *I Am a Strange Loop*. Nueva York: Basic Books, 2007.
- Holland, Owen. «The First Biologically Inspired Robots». *Robotica* 21 (2003): 351-363.
- Holmes, Oliver Wendell. *The Autocrat of the Breakfast-Table*. Nueva York: Houghton Mifflin, 1893.
- Holzmann, Gerard J., y Björn Pehrson. *The Early History of Data Networks*. Washington D.C.: IEEE Computer Society, 1995.
- Hopper, Robert. *Telephone Conversation*. Bloomington: Indiana University Press, 1992.
- Horgan, John. «Claude E. Shannon». *IEEE Spectrum* (abril de 1992): 72-75.
- Horsley, Victor. «Description of the Brain of Mr. Charles Babbage, F.R.S.». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 200 (1909): 117-131.
- Huberman, Bernardo A. *The Laws of the Web: Patterns in the Ecology of Information*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2001.
- Hughes, Geoffrey. *A History of English Words*. Oxford: Blackwell, 2000.
- Hüllen, Werner. *English Dictionaries 800-1700: The Topical Tradition*. Oxford: Clarendon Press, 1999.
- Hume, Alexander. *Of the Orthographie and Congruitie of the Britian Tongue* (1620). Edición, a partir del manuscrito original del Museo Británico, de Henry B. Wheatley. Londres: Early English Text Society, 1865.

Husbands, Philip, y Owen Holland. «The Ratio Club: A Hub of British Cybernetics». En *The Mechanical Mind in History*, 91-148. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2008.

Husbands, Philip, Owen Holland, y Michael Wheeler (eds.). *The Mechanical Mind in History*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2008.

Huskey, Harry D., y Velma R. Huskey. «Lady Lovelace and Charles Babbage». *Annals of the History of Computing* 2, nº 4 (1980): 299-329.

Hyatt, Harry Middleton. *Folk-Lore from Adams County, Illinois*. 2ª ed. rev. Hannibal, Mo.: Alma Egan Hyatt Foundation, 1965

Hyman, Anthony. *Charles Babbage: Pioneer of the Computer*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1982.

Hyman, Anthony (ed.). *Science and Reform: Selected Works of Charles Babbage*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

Ifrah, Georges. *The Universal History of Computing: From the Abacus to the Quantum Computer*. Nueva York: Wiley and Sons, 2001.

Ivanhoe, P. J., y Bryan W. Van Norden. *Readings in Classical Chinese Philosophy*. 2ª ed. Indianápolis: Hackett Publishing, 2005.

Jackson, Willis (ed.). *Communication Theory*. Nueva York: Academic Press, 1953.

James, William. *Principles of Psychology*. Chicago: Encyclopædia Britannica, 1952.

Jaynes, Edwin T. «Information Theory and Statistical Mechanics». *Physical Review* 106, nº 4 (1957): 620-630.

—, «Where Do We Stand on Maximum Entropy». En *The Maximum Entropy Formalism*, editado por R. D. Levine y Myron Tribus. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1979.

Jaynes, Edwin T., Walter T. Grandy, y Peter W. Milonni. *Physics and Probability: Essays in Honor of Edwin T. Jaynes*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

Jaynes, Julian. *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*. Boston: Houghton Mifflin, 1977.

Jennings, Humphrey. *Pandaemonium: The Coming of the Machine as Seen by Contemporary Observers, 1660-1886*. Edición de Mary-Lou Jennings y Charles Madge. Nueva York: Free Press, 1985.

Johannsen, Wilhelm. «The Genotype Conception of Heredity». *American Naturalist* 45, n° 531 (1911): 129-159.

Johns, Adrian. *The Nature of the Book: Print and Knowledge in the Making*. Chicago: University of Chicago Press, 1998.

Johnson, George. *Fire in the Mind: Science, Faith, and the Search for Order*. Nueva York: Knopf, 1995.

—, «Claude Shannon, Mathematician, Dies at 84». *The New York Times*, 27 de febrero de 2001, B7.

Johnson, Horton A. «Thermal Noise and Biological Information». *Quarterly Review of Biology* 62, n° 2 (1987): 141-152.

Joncourt, Élie de. *De Natura et Praeclaro Usu Simplicissimae Speciei Numerorum Trigonalium*. Editado por É. de Joncourt Auctore. Hagrae Comitum: Husson, 1762.

Jones, Alexander. *Historical Sketch of the Electric Telegraph: Including Its Rise and Progress in the United States*. Nueva York: Putnam, 1852.

Jones, Jonathan. «Quantum Computers Get Real». *Physics World* 15, n° 4 (2002): 21-22.

—, «Quantum Computing: Putting It into Practice». *Nature* 421 (2003): 28-29.

- Judson, Horace Freeland. *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*. Nueva York: Simon & Schuster, 1979.
- Kahn, David. *The Codebreakers: The Story of Secret Writing*. Londres: Weidenfeld & Nicolson, 1968.
- , *Seizing the Enigma: The Race to Break the German U-Boat Codes, 1939-1943*. Nueva York: Barnes & Noble, 1998.
- Kahn, Robert E. «A Tribute to Claude E. Shannon». *IEEE Communications Magazine* (2001): 18-22.
- Kalin, Theodore A. «Formal Logic and Switching Circuits». En *Proceedings of the 1952 ACM National Meeting (Pittsburgh)*, 251-57. Nueva York: ACM, 1952.
- Kauffman, Stuart. *Investigations*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- Kay, Lily E. *Who Wrote the Book of Life: A History of the Genetic Code*. Stanford, Calif.: Stanford University Press, 2000.
- Kelly, Kevin. *Out of Control: The Rise of Neo-Biological Civilization*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1994.
- Kendall, David G. «Andrei Nikolaevich Kolmogorov. 25 de abril de 1903 - 20 de octubre de 1987». *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 37 (1991): 301-319.
- Keynes, John Maynard. *A Treatise on Probability*. Londres: Macmillan, 1921.
- Kneale, William. «Boole and the Revival of Logic». *Mind* 57, n° 226 (1948): 149-175.
- Knuth, Donald E. «Ancient Babylonian Algorithms». *Communications of the Association for Computing Machinery* 15, n° 7 (1972): 671-677.
- Kolmogorov, A. N. «Combinatorial Foundations of Information Theory and the

- Calculus of Probabilities». *Russian Mathematical Surveys* 38, n° 4 (1983): 29-43.
- , *Selected Works of A. N. Kolmogorov. Vol. 3, Information Theory and the Theory of Algorithms*. Trad. al inglés de A. B. Sossinsky. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- Kolmogorov, A. N., I. M. Gelfand, y A. M. Yaglom. «On the General Definition of the Quantity of Information» (1956). En *Selected Works of A. N. Kolmogorov, vol. 3, Information Theory and the Theory of Algorithms*, 2-5. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- Kolmogorov, A. N., y A. N. Shiryaev. *Kolmogorov in Perspective. History of Mathematics*, vol. 20. Trad. al inglés de Harold H. McFaden. S. l.: American Mathematical Society, London Mathematical Society, 2000.
- Krutch, Joseph Wood. *Edgar Allan Poe: A Study in Genius*. Nueva York: Knopf, 1926.
- Kubát, Libor, y Jirí Zeman. *Entropy and Information in Science and Philosophy*. Ámsterdam: Elsevier, 1975.
- Langville, Amy N., y Carl D. Meyer. *Google's Page Rank and Beyond: The Science of Search Engine Rankings*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2006.
- Lanier, Jaron. *You Are Not a Gadget*. Nueva York: Knopf, 2010.
- Lanouette, William. *Genius in the Shadows*. Nueva York: Scribner's, 1992.
- Lardner, Dionysius. «Babbage's Calculating Engines». *Edinburgh Review* 59, n° 120 (1834): 263-327.
- , *The Electric Telegraph*. Revisado y reescrito por Edward B. Bright. Londres: James Walton, 1867.
- Lasker, Edward. *The Adventure of Chess*. 2ª ed. Nueva York: Dover, 1959.

- Leavitt, Harold J., y Thomas L. Whisler. «Management in the 1980s». *Harvard Business Review* (1958): 41-48.
- Leff, Harvey S., y Andrew F. Rex, (eds.). *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing*. Princeton, University Press, 1990.
- , *Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing*. Bristol U.K.: Institute of Physics, 2003.
- Lenoir, Timothy (ed.). *Inscribing Science: Scientific Texts and the Materiality of Communication*. Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1998.
- Licklider, J. C. R. «Interview Conducted by William Aspray and Arthur Norberg». (1988).
- Lieberman, Phillip. «Voice in the Wilderness: How Humans Acquired the Power of Speech». *Sciences* (1988): 23-29.
- Lloyd, Seth. «Computational Capacity of the Universe». *Physical Review Letters* 88, n° 23 (2002). arXiv:quant-ph/0110141v1.
- , *Programming the Universe*. Nueva York: Knopf, 2006.
- Loewenstein, Werner R. *The Touchstone of Life: Molecular Information, Cell Communication, and the Foundations of Life*. Nueva York: Oxford University Press, 1999.
- Lucky, Robert W. *Silicon Dreams: Information, Man, and Machine*. Nueva York: St. Martin's Press, 1989.
- Lundheim, Lars. «On Shannon and "Shannon's Formula"». *Teletronikk* 98, n° 1 (2002): 20-29.
- Luria, A. R. *Cognitive Development: Its Cultural and Social Foundations*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1976.
- Lynch, Aaron. *Thought Contagion: How Belief Spreads Through Society*.

- Nueva York: Basic Books, 1996.
- Mabee, Carleton. *The American Leonardo: A Life of Samuel F. B. Morse*. Nueva York: Knopf, 1943.
- MacFarlane, Alistair G. J. «Information, Knowledge, and the Future of Machines». *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 361, n° 1809 (2003): 1581-1616.
- Machlup, Fritz, y Una Mansfield (eds.). *The Study of Information: Interdisciplinary Messages*. Nueva York: Wiley and Sons, 1983.
- Machta, J. «Entropy, Information, and Computation». *American Journal of Physics* 67, n° 12 (1999): 1074-1077.
- Mackay, Charles. *Memoirs of Extraordinary Popular Delusions*. Filadelfia: Lindsay & Blakiston, 1850.
- MacKay, David J. C. *Information Theory, Inference, and Learning Algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- MacKay, Donald M. *Information, Mechanism, and Meaning*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969.
- Macrae, Norman. *John Von Neumann: The Scientific Genius Who Pioneered the Modern Computer, Game Theory, Nuclear Deterrence, and Much More*. Nueva York: Pantheon, 1992.
- Macray, William Dunn. *Annals of the Bodleian Library, Oxford, 1598-1867*. Londres: Rivingtons, 1868.
- Mancosu, Paolo. *From Brouwer to Hilbert: The Debate on the Foundations of Mathematics in the 1920s*. Nueva York: Oxford University Press, 1998.
- Marland, E. A. *Early Electrical Communication*. Londres: Abelard-Schuman, 1964.

- Martin, Michèle. «*Hello, Central?*»: *Gender, Technology, and Culture in the Formation of Telephone Systems*. Montreal: McGill-Queen's University Press, 1991.
- Marvin, Carolyn. *When Old Technologies Were New: Thinking About Electric Communication in the Late Nineteenth Century*. Nueva York: Oxford University Press, 1988.
- Maxwell, James Clerk. *Theory of Heat*. 8ª ed., Londres: Longmans, Green, 1885.
- Mayr, Otto. «Maxwell and the Origins of Cybernetics». *Isis* 62, nº 4 (1971): 424-444.
- McCulloch, Warren S. «Brain and Behavior». *Comparative Psychology Monograph* 20 1, Series 103 (1950).
- , «Through the Den of the Metaphysician». *British Journal for the Philosophy of Science* 5, nº 17 (1954): 18-31.
- , *Embodiments of Mind*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1965.
- , «Recollections of the Many Sources of Cybernetics». *ASC Forum* 6, nº 2 (1974): 5-16.
- McCulloch, Warren S., y John Pfeiffer. «Of Digital Computers Called Brains». *Scientific Monthly* 69, nº 6 (1949): 368-376.
- McLuhan, Marshall. *The Mechanical Bride: Folklore of Industrial Man*. Nueva York: Vanguard Press, 1951.
- , *The Gutenberg Galaxy*. Toronto: University of Toronto Press, 1962.
- , *Understanding Media: The Extensions of Man*. Nueva York: McGraw-Hill, 1965.
- , *Essential McLuhan*. Editado por Eric McLuhan y Frank Zingrone. Nueva

- York: Basic Books, 1996.
- McLuhan, Marshall, y Quentin Fiore. *The Medium Is the Massage*. Nueva York: Random House, 1967.
- McNeely, Ian F., junto con Lisa Wolverton. *Reinventing Knowledge: From Alexandria to the Internet*. Nueva York: Norton, 2008.
- Menabrea, L. F. «Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage. With notes upon the Memoir by the Translator, Ada Augusta, Countess of Lovelace». *Bibliothèque Universelle de Genève* 82 (octubre de 1842). También disponible online en <http://www.fourmilab.ch/babbage/sketch.html>.
- Menninger, Karl, y Paul Broneer. *Number Words and Number Symbols: A Cultural History of Numbers*. Dover Publications, 1992.
- Mermin, N. David. «Copenhagen Computation: How I Learned to Stop Worrying and Love Bohr». *IBM Journal of Research and Development* 48 (2004): 53-61.
- , *Quantum Computer Science: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- Miller, George A. «The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information». *Psychological Review* 63 (1956): 81-97.
- Miller, Jonathan. *Marshall McLuhan*. Nueva York: Viking, 1971.
- , *States of Mind*. New Pantheon, 1983.
- Millman, S. (ed.). *A History of Engineering and Science in the Bell System: Communications Sciences (1925-1980)*. Bell Telephone Laboratories, 1984.
- Mindell, David A. *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing Before Cybernetics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press,

2002.

Mindell, David A., Jérôme Segal, y Slava Gerovitch. «Cybernetics and Information Theory in the United States, France, and the Soviet Union». En *Science and Ideology: A Comparative History*, editado por Mark Walker, 66-95. Londres: Routledge, 2003.

Monod, Jacques. *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. Trad. ing. de Austryn Wainhouse. Nueva York: Knopf, 1971.

Moore, Francis. *Travels Into the Inland Parts of Africa*. Londres: J. Knox, 1767.

Moore, Gordon E. «Cramming More Components onto Integrated Circuits». *Electronics* 38, nº 8 (1965): 114-117.

Morowitz, Harold J. *The Emergence of Everything: How the World Became Complex*. Nueva York: Oxford University Press, 2002.

Morse, Samuel F. B. *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*. Editado por Edward Lind Morse. Boston: Houghton Mifflin, 1914.

Morus, Iwan Rhys. «“The Nervous System of Britain”: Space, Time and the Electric Telegraph in the Victorian Age». *British Journal of the History of Science* 33 (2000): 455-475.

Moseley, Maboth. *Irascible Genius: A Life of Charles Babbage, Inventor*. Londres: Hutchinson, 1964.

Mugglestone, Lynda. «Labels Reconsidered: Objectivity and the OED». *Dictionaries* 21 (2000): 22-37.

—, *Lost for Words: The Hidden History of the Oxford English Dictionary*. New Haven, Conn.: Yale University Press, 2005.

Mulcaster, Richard. *The First Part of the Elementarie Which Entreateth*

- Chefelie of the Right Writing of Our English Tung*. Londres: Thomas Vautroullier, 1582.
- Mullett, Charles F. «Charles Babbage: A Scientific Gadfly». *Scientific Monthly* 67, n° 5 (1948): 361-371.
- Mumford, Lewis. *The Myth of the Machine*. Vol. 2, *The Pentagon of Power*. Nueva York: Harcourt, Brace, 1970.
- Murray, K. M. E. *Caught in the Web of Words*. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1978.
- Mushengyezi, Aaron. «Rethinking Indigenous Media: Rituals, “Talking” Drums and Orality as Forms of Public Communication in Uganda». *Journal of African Cultural Studies* 16, n° 1 (2003): 107-117.
- Nagel, Ernest, y James R. Newman. *Gödel’s Proof*. Nueva York: New York University Press, 1958.
- Napier, John. *A Description of the Admirable Table of Logarithmes*. Trad. ing. de Edward Wright. Londres: Nicholas Okes, 1616.
- Nemes, Tihamér. *Cybernetic Machines*. Trad. ing. de I. Földes. Nueva York: Gordon & Breach, 1970.
- Neugebauer, Otto. *The Exact Sciences in Antiquity*. 2ª ed. Providence, R.I.: Brown University Press,
- , *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. «Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences», vol. 1. Nueva York: Springer-Verlag, 1975.
- Neugebauer, Otto, Abraham Joseph Sachs, y Albrecht Götze. *Mathematical Cuneiform Texts*. American Oriental Series, vol. 29. New Haven, Conn.: American Oriental Society and the American Schools of Oriental Research, 1945.

- Newman, M. E. J. «The Structure and Function of Complex Networks». *SIAM Review* 45, nº 2 (2003): 167-256.
- Niven, W. D. (ed.). *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Cambridge: Cambridge University Press, 1890; reimpr. Nueva York: Dover, 1965.
- Norman, Donald A. *Things That Make Us Smart: Defending Human Attributes in the Age of the Machine*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1993.
- Nørretranders, Tor. *The User Illusion: Cutting Consciousness Down to Size*. Trad. ing. de Jonathan Sydenham. Nueva York: Penguin, 1998.
- Noyes, Gertrude E. «The First English Dictionary, Cawdrey's *Table Alphabeticall*». *Modern Language Notes* 58, nº 8 (1943): 600-605.
- Ogilvie, Brian W. «The Many Books of Nature: Renaissance Naturalists and Information Overload». *Journal of the History of Ideas* 64, nº 1 (2003): 29-40.
- , *The Science of Describing: Natural History in Renaissance Europe*. Chicago: University of Chicago Press, 2006.
- Olson, David R. «From Utterance to Text: The Bias of Language in Speech and Writing». *Harvard Educational Review* 47 (1977): 257-281.
- , «The Cognitive Consequences of Literacy». *Canadian Psychology* 27, nº 2 (1986): 109-121.
- Ong, Walter J. «This Side of Oral Culture and of Print». *Lincoln Lecture* (1973).
- , «African Talking Drums and Oral Noetics». *New Literary History* 8, nº 3 (1977): 411-429.
- , *Interfaces of the Word*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1977.
- , *Orality and Literacy: The Technologizing of the Word*. Londres: Methuen,

1982.

Oslin, George P. *The Story of Telecommunications*. Macon, Ga.: Mercer University Press, 1992.

Page, Lawrence, Sergey Brin, Rajeev Motwani, y Terry Winograd. «The Pagerank Citation Ranking: Bringing Order to the Web». Technical Report SIDLWP-1999-0120, Stanford University InfoLab (1998). Disponible online en <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf>.

Pain, Stephanie. «Mr. Babbage and the Buskers». *New Scientist* 179, n° 2408 (2003): 42.

Paine, Albert Bigelow. *In One Man's Life: Being Chapters from the Personal & Business Career of Theodore N. Vail*. Nueva York: Harper & Brothers, 1921.

Palme, Jacob. «You Have 134 Unread Mail! Do You Want to Read Them Now?». En *Computer-Based Message Services*, editado por Hugh T. Smith. North Holland: Elsevier, 1984.

Peckhaus, Volker. «19th Century Logic Between Philosophy and Mathematics». *Bulletin of Symbolic Logic* 5, n° 4 (1999): 433-450.

Peres, Asher. «Einstein, Podolsky, Rosen, and Shannon», *arXiv:quant-ph/0310010 v1*, 2003.

—, «What Is Actually Teleported?», *IBM Journal of Research and Development* 48, n° 1 (2004): 63-69.

Pérez-Montoro, Mario. *The Phenomenon of Information: A Conceptual Approach to Information Flow*. Trad. ing. de Dick Edelstein. Lanham, Md.: Scarecrow, 2007.

Peters, John Durham. *Speaking Into the Air: A History of the Idea of Communication*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

Philological Society. *Proposal for a Publication of a New English Dictionary by the Philological Society*. Londres: Trübner & Co., 1859.

Pickering, John. *A Lecture on Telegraphic Language*. Boston: Hilliard, Gray, 1833.

Pierce, John R. *Symbols, Signals and Noise: The Nature and Process of Communication*. Nueva York: Harper & Brothers, 1961.

—, «The Early Days of Information Theory». *IEEE Transactions on Information Theory* 19, n° 1 (1973): 3-8.

—, *An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals and Noise*. 2ª ed. Nueva York: Dover, 1980.

—, «Looking Back: Claude Elwood Shannon». *IEEE Potentials* 12, n° 4 (diciembre de 1993): 38-40.

Pinker, Steven. *The Language Instinct: How the Mind Creates Language*. Nueva York: William Morrow, 1994.

—, *The Stuff of Thought: Language as a Window into Human Nature*. Nueva York: Viking, 2007.

Platt, John R. (ed.). *New Views of the Nature of Man*. Chicago: University of Chicago Press, 1983.

Plenio, Martin B., y Vincenzo Vitelli. «The Physics of Forgetting: Landauer's Erasure Principle and Information Theory». *Contemporary Physics* 42, n° 1 (2001): 25-60.

Poe, Edgar Allan. *Essays and Reviews*. Nueva York: Library of America, 1984.

—, *Poetry and Tales*. Nueva York: Library of America, 1984

Pool, Ithiel de Sola (ed.). *The Social Impact of the Telephone*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1977.

Poundstone, William. *The Recursive Universe: Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge*. Chicago: Contemporary Books, 1985.

Prager, John. *On Turing*. Belmont, California: Wadsworth, 2001.

Price, Robert. «A Conversation with Claude Shannon: One Man's Approach to Problem Solving». *IEEE Communications Magazine* 22 (1984): 123-126.

Pulgram, Ernst. *Theory of Names*. Berkeley, California: American Name Society, 1954.

Purbrick, Louise. «The Dream Machine: Charles Babbage and His Imaginary Computers». *Journal of Design History* 6:1 (1993): 9-23.

Quastler, Henry (ed.). *Essays on the Use of Information Theory in Biology*. Urbana: University of Illinois Press, 1953.

—, *Information Theory in Psychology: Problems and Methods*. Glencoe, Ill.: Free Press, 1955

Radford, Gary P. «Overcoming Dewey's "False Psychology": Reclaiming Communication for Communication Studies». Estudio presentado en la LXXX Conferencia Anual de la Speech Communication Association, Nueva Orleans, noviembre de 1994. Disponible online en <http://www.theprofessors.net/dewey.html>.

Rattray, Robert Sutherland. «The Drum Language of West Africa: Part I». *Journal of the Royal African Society* 22, n° 87 (1923): 226-236.

—, «The Drum Language of West Africa: Part II». *Journal of the Royal African Society* 22, n° 88 (1923): 302-316.

Redfield, Robert. *The Primitive World and Its Transformations*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1953.

Renyi, Alfred. *A Diary on Information Theory*. Chichester, N.Y.: Wiley and Sons, 1984.

- Rheingold, Howard. *Tools for Thought: The History and Future of Mind-Expanding Technology*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2000.
- Rhodes, Frederick Leland. *Beginnings of Telephony*. Nueva York: Harper & Brothers, 1929.
- Rhodes, Neil, y Jonathan Sawday (eds.). *The Renaissance Computer: Knowledge Technology in the First Age of Print*. Londres: Routledge, 2000.
- Richardson, Robert D. *William James: In the Maelstrom of American Modernism*. Nueva York: Houghton Mifflin, 2006.
- Robertson, Douglas S. *The New Renaissance: Computers and the Next Level of Civilization*. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- , *Phase Change: The Computer Revolution in Science and Mathematics*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- Rochberg, Francesca. *The Heavenly Writing: Divination, Horoscopy, and Astronomy in Mesopotamian Culture*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- Roederer, Juan G. *Information and Its Role in Nature*. Berlín: Springer, 2005.
- Rogers, Everett M. «Claude Shannon's Cryptography Research during World War II and the Mathematical Theory of Communication». En *Proceedings, IEEE 28th International Carnahan Conference on Security Technology*, octubre de 1994: 1-5.
- Romans, James. *ABC of the Telephone*. Nueva York: Audel & Co., 1901.
- Ronell, Avital. *The Telephone Book: Technology, Schizophrenia, Electric Speech*. Lincoln: University of Nebraska Press, 1991.
- Rosenblueth, Arturo, Norbert Wiener, y Julian Bigelow. «Behavior, Purpose and Teleology». *Philosophy of Science* 10 (1943): 18-24.

- Rosenheim, Shawn James. *The Cryptographic Imagination: Secret Writing from Edgar Poe to the Internet*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1997.
- Russell, Bertrand. *Logic and Knowledge: Essays, 1901-1950*. Londres: Routledge, 1956.
- Sagan, Carl. *Murmurs of Earth: The Voyager Interstellar Record*. Nueva York: Random House, 1978
- Sapir, Edward. *Language: An Introduction to the Study of Speech*. Nueva York: Harcourt, Brace, 1921
- Sarkar, Sahotra. *Molecular Models of Life*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2005.
- Schaffer, Simon. «Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System». *Critical Inquiry* 21, n° 1 (1994): 203-227.
- , «Paper and Brass: The Lucasian Professorship 1820-39». En *From Newton to Hawking: A History of Cambridge University's Lucasian Professors of Mathematics*, editado por Kevin C. Knox y Richard Noakes, 241-294. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- Schindler, G. E., Jr. (ed.). *A History of Engineering and Science in the Bell System: Switching Technology (1925-1975)*. Bell Telephone Laboratories, 1982.
- Schrödinger, Erwin. *What Is Life?* Nueva edición. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.
- Seife, Charles. *Decoding the Universe*. Nueva York: Viking, 2006.
- Shaffner, Taliaferro P. *The Telegraph Manual: A Complete History and Description of the Semaphoric, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa, and America, Ancient and Modern*. Nueva York:

- Pudney & Russell, 1859.
- Shannon, Claude Elwood. *Collected Papers*. Editado por N. J. A. Sloane y Aaron D. Wyner. Nueva York: IEEE Press, 1993.
- , *Miscellaneous Writings*. Editado por N. J. A. Sloane y Aaron D. Wyner. Murray Hill, N.J.: Mathematical Sciences Research Center, AT&T Bell Laboratories, 1993.
- Shannon, Claude Elwood, y Warren Weaver. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- Shenk, David. *Data Smog: Surviving the Information Glut*. Nueva York: HarperCollins, 1997.
- Shieber, Stuart M. (ed.). *The Turing Test: Verbal Behavior as the Hallmark of Intelligence*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2004.
- Shiryayev, A. N. «Kolmogorov: Life and Creative Activities». *Annals of Probability* 17, nº 3 (1989): 866-944.
- Siegfried, Tom. *The Bit and the Pendulum: From Quantum Computing to M Theory-The New Physics of Information*. Nueva York: Wiley and Sons, 2000.
- Silverman, Kenneth. *Lightning Man: The Accursed Life of Samuel F. B. Morse*. Nueva York: Knopf, 2003.
- Simpson, John. «Preface to the Third Edition of the *Oxford English Dictionary*». Oxford University Press, <http://oed.com/about/oed3-preface/#general> (visitado el 13 de junio de 2010).
- Simpson, John (ed.). *The First English Dictionary, 1604: Robert Cawdrey's A Table Alphabeticall*. Oxford: Bodleian Library, 2007.
- Singh, Jagjit. *Great Ideas in Information Theory, Language and Cybernetics*. Nueva York: Dover, 1966.

- Singh, Simon. *The Code Book: The Secret History of Codes and Codebreaking*. Londres: Fourth Estate, 1999
- Slater, Robert. *Portraits in Silicon*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1987.
- Slepian, David. «Information Theory in the Fifties». *IEEE Transactions on Information Theory* 19, nº 2 (1973): 145-148.
- Sloman, Aaron. *The Computer Revolution in Philosophy*. Hassocks, Sussex: Harvester Press, 1978.
- Smith, D. E. *A Source Book in Mathematics*. Nueva York: McGraw-Hill, 1929.
- Smith, Francis O. J. *The Secret Corresponding Vocabulary; Adapted for Use to Morse's Electro-Magnetic Telegraph: And Also in Conducting Written Correspondence, Transmitted by the Mails, or Otherwise*. Portland, Maine: Thurston, Ilsley, 1845.
- Smith, G. C. *The Boole-De Morgan Correspondence 1842-1864*. Oxford: Clarendon Press, 1982.
- Smith, John Maynard. «The Concept of Information in Biology». *Philosophy of Science* 67 (2000): 177-194.
- Smolin, J. A. «The Early Days of Experimental Quantum Cryptography». *IBM Journal of Research and Development* 48 (2004): 47-52.
- Solana-Ortega, Alberto. «The Information Revolution Is Yet to Come: An Homage to Claude E. Shannon». En *Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering*, AIP Conference Proceedings 617, editado por Robert L. Fry. Melville, N.Y.: American Institute of Physics, 2002.
- Solomonoff, Ray J. «A Formal Theory of Inductive Inference». *Information and Control* 7, nº 1 (1964): 1-22.

—, «The Discovery of Algorithmic Probability». *Journal of Computer and System Sciences* 55, nº 1 (1997): 73-88.

Solymar, Laszlo. *Getting the Message: A History of Communications*. Oxford: Oxford University Press, 1999.

Spellerberg, Ian F., y Peter J. Fedor. «A Tribute to Claude Shannon (1916-2001) and a Plea for More Rigorous Use of Species Richness, Species Diversity and the “Shannon-Wiener” Index». *Global Ecology and Biogeography* 12 (2003): 177-179.

Sperry, Roger. «Mind, Brain, and Humanist Values». En *New Views of the Nature of Man*, editado por John R. Platt, 71-92. Chicago: University of Chicago Press, 1983.

Sprat, Thomas. *The History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge*. 3ª ed. Londres: 1722.

Spufford, Francis, y Jenny Uglow (eds.). *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*. Londres: Faber and Faber, 1996.

Standage, Tom. *The Victorian Internet: The Remarkable Story of the Telegraph and the Nineteenth Century's On-Line Pioneers*. Nueva York: Berkley, 1998.

Starnes, De Witt T., y Gertrude E. Noyes. *The English Dictionary from Cawdrey to Johnson 1604-1755*. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1946.

Steane, Andrew M., y Eleanor G. Rieffel. «Beyond Bits: The Future of Quantum Information Processing». *Computer* 33 (2000): 38-45.

Stein, Gabriele. *The English Dictionary Before Cawdrey*. Tübingen, Alemania: Max Neimeyer, 1985.

Steiner, George. «On Reading Marshall McLuhan». En *Language and Silence*:

- Essays on Language, Literature, and the Inhuman*, 251-268. Nueva York: Atheneum, 1967.
- Stent, Gunther S. «That Was the Molecular Biology That Was». *Science* 160, n° 3826 (1968): 390-395.
- , «DNA». *Daedalus* 99 (1970): 909-937.
- , «You Can Take the Ethics Out of Altruism But You Can't Take the Altruism Out of Ethics». *Hastings Center Report* 7, n° 6 (1977): 33-36.
- Stephens, Mitchell. *The Rise of the Image, the Fall of the Word*. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- Stern, Theodore. «Drum and Whistle “Languages”: An Analysis of Speech Surrogates». *American Anthropologist* 59 (1957): 487-506.
- Stix, Gary. «Riding the Back of Electrons». *Scientific American* (septiembre de 1998): 32-33.
- Stonier, Tom. *Beyond Information: The Natural History of Intelligence*. Londres: Springer-Verlag, 1992.
- , *Information and Meaning: An Evolutionary Perspective*. Berlín: Springer-Verlag, 1997.
- Streufert, Siegfried, Peter Suedfeld, y Michael J. Driver. «Conceptual Structure, Information Search, and Information Utilization». *Journal of Personality and Social Psychology* 2, n° 5 (1965): 736-740.
- Sunstein, Cass R. *Infotopia: How Many Minds Produce Knowledge*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- Surowiecki, James. *The Wisdom of Crowds*. Nueva York: Doubleday, 2004.
- Swade, Doron. «The World Reduced to Number». *Isis* 82, n° 3 (1991): 532-536.

—, *The Cogwheel Brain: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer*. Londres: Little, Brown, 2000.

—, *The Difference Engine: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer*. Nueva York: Viking, 2001.

Swift, Jonathan. *A Tale of a Tub: Written for the Universal Improvement of Mankind*. 1692.

Szilárd, Leó. «On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings». Trad. ing. de Anatol Rapoport y Mechtild Knoller de «Über Die Entropieverminderung in Einem Thermodynamischen System Bei Eingriffen Intelligenter Wesen», *Zeitschrift Für Physik* 53 (1929). *Behavioral Science* 9, n° 4 (1964): 301-310.

Teilhard de Chardin, Pierre. *The Human Phenomenon*. Trad. ing. de Sarah Appleton-Weber. Brighton, Reino Unido: Sussex Academic Press, 1999.

Terhal, Barbara M. «Is Entanglement Monogamous?». *IBM Journal of Research and Development* 48, n° 1 (2004): 71-78.

Thompson, A. J., y Karl Pearson. «Henry Briggs and His Work on Logarithms». *American Mathematical Monthly* 32, n° 3 (1925): 129-131.

Thomsen, Samuel W. «Some Evidence Concerning the Genesis of Shannon's Information Theory». *Studies in History and Philosophy of Science* 40 (2009): 81-91.

Thorp, Edward O. «The Invention of the First Wearable Computer». En *Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Wearable Computers*. Washington, D.C.: IEEE Computer Society, 1998.

Toole, Betty Alexandra. «Ada Byron, Lady Lovelace, an Analyst and Metaphysician». *IEEE Annals of the History of Computing* 18, n° 3 (1996): 4-12.

—, *Ada, the Enchantress of Numbers: Prophet of the Computer Age*. Mill Valley, California: Strawberry Press, 1998.

Tufte, Edward R. «The Cognitive Style of PowerPoint». Cheshire, Conn.: Graphics Press, 2003.

Turing, Alan M. «On Computable Numbers, with an Application to the *Entscheidungsproblem*». *Proceedings of the London Mathematical Society* 42 (1936): 230-265.

—, «Computing Machinery and Intelligence». *Minds and Machines* 59, n° 236 (1950): 433-460.

—, «The Chemical Basis of Morphogenesis». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 237, n° 641 (1952): 37-72.

Turnbull, Laurence. *The Electro-Magnetic Telegraph, With an Historical Account of Its Rise, Progress, and Present Condition*. Filadelfia: A. Hart, 1853.

Vail, Alfred. *The American Electro Magnetic Telegraph: With the Reports of Congress, and a Description of All Telegraphs Known, Employing Electricity Or Galvanism*. Filadelfia: Lea & Blanchard, 1847.

Verdú, Sergio. «Fifty Years of Shannon Theory». *IEEE Transactions on Information Theory* 44, n° 6 (1998): 2057-2078.

Vincent, David. *Literacy and Popular Culture: England 1750-1914*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

Virilio, Paul. *The Information Bomb*. Trad. ing. de Chris Turner. Londres: Verso, 2000.

Von Baeyer, Hans Christian. *Maxwell's Demon: Why Warmth Disperses and Time Passes*. Nueva York: Random House, 1998.

—, *Information: The New Language of Science*. Cambridge, Massachusetts:

Harvard University Press, 2004.

Von Foerster, Heinz. *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems: Transactions of the Seventh Conference, March 23-24, 1950*. Nueva York: Josiah Macy, Jr. Foundation, 1951.

—, *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems: Transactions of the Eighth Conference, March 15-16, 1951*. Nueva York: Josiah Macy, Jr. Foundation, 1952.

—, «Interview with Stefano Franchi, Güven Güzeldere, and Eric Minch». *Stanford Humanities Review* 4, n° 2 (1995). Disponible online en <http://www.stanford.edu/group/SHR/4-2/text/interviewvonf.html>.

Von Neumann, John. *The Computer and the Brain*. New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1958.

—, *Collected Works*. Vols. 1-6. Oxford: Pergamon Press, 1961.

Vulpiani, A., y Roberto Livi. *The Kolmogorov Legacy in Physics: A Century of Turbulence and Complexity*. «Lecture Notes in Physics», n° 642. Berlín: Springer, 2003.

Waldrop, M. Mitchell. «Reluctant Father of the Digital Age». *Technology Review* (julio-agosto de 2001): 64-71.

Wang, Hao. «Some Facts About Kurt Gödel». *Journal of Symbolic Logic* 46 (1981): 653-659.

Watson, David L. «Biological Organization». *Quarterly Review of Biology* 6, n° 2 (1931): 143-166.

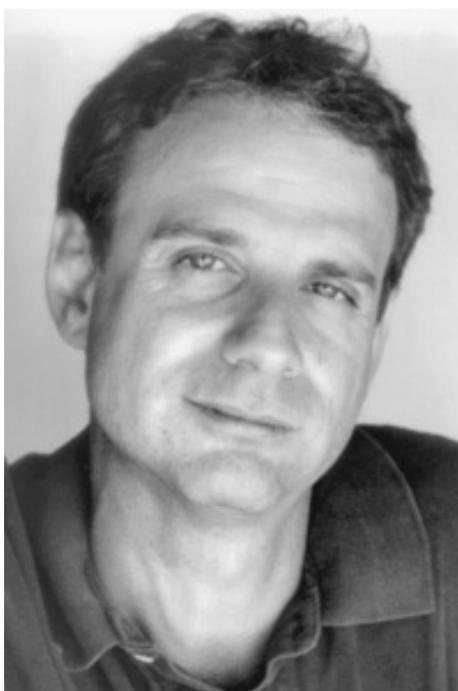
Watson, James D. *The Double Helix*. Nueva York: Atheneum, 1968.

—, *Genes, Girls, and Gamow: After the Double Helix*. Nueva York: Knopf, 2002.

- , *Molecular Models of Life*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- Watson, James D., y Francis Crick. «A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid». *Nature* 171 (1953): 737.
- , «Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid». *Nature* 171 (1953): 964-966.
- Watts, Duncan J. «Networks, Dynamics, and the Small-World Phenomenon». *American Journal of Sociology* 105, n° 2 (1999): 493-527.
- , *Small Worlds: The Dynamics of Networks Between Order and Randomness*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1999.
- , *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. Nueva York: Norton, 2003.
- Watts, Duncan J., y Steven H. Strogatz. «Collective Dynamics of “Small-World” Networks». *Nature* 393 (1998): 440-442.
- Weaver, Warren. «The Mathematics of Communication». *Scientific American* 181, n° 1 (1949): 11-15.
- Wells, H. G. *World Brain*. Londres: Methuen, 1938.
- , *A Short History of the World*. San Diego: Book Tree, 2000.
- Wheeler, John Archibald. «Information, Physics, Quantum: The Search for Links». *Proceedings of the Third International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics* (1989): 354-368.
- , *At Home in the Universe. Masters of Modern Physics*, 9. Nueva York: American Institute of Physics, 1994.
- Wheeler, John Archibald, junto con Kenneth Ford. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics*. Nueva York: Norton, 1998.
- Whitehead, Alfred North, y Bertrand Russell. *Principia Mathematica*.

- Cambridge: Cambridge University Press, 1910.
- Wiener, Norbert. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2^a ed. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1961.
- , *I Am a Mathematician: The Later Life of a Prodigy*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1964.
- Wiener, Philip P. (ed.). *Leibniz Selections*. Nueva York: Scribner's, 1951.
- Wilkins, John. *Mercury: Or the Secret and Swift Messenger. Shewing, How a Man May With Privacy and Speed Communicate His Thoughts to a Friend At Any Distance*. 3^a ed. Londres: John Nicholson, 1708.
- Williams, Michael. *A History of Computing Technology*. Washington, D.C.: IEEE Computer Society, 1997.
- Wilson, Geoffrey. *The Old Telegraphs*. Londres: Phillimore, 1976.
- Winchester, Simon. *The Meaning of Everything: The Story of the Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- Wisdom, J. O. «The Hypothesis of Cybernetics». *British Journal for the Philosophy of Science* 2, n° 5 (1951): 1-24.
- Wittgenstein, Ludwig. *Philosophical Investigation*. Trad. ing. de G. E. M. Anscombe. Nueva York: Macmillan, 1953.
- , *Remarks on the Foundations of Mathematics*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1967.
- Woodward, Kathleen. *The Myths of Information: Technology and Postindustrial Culture*. Madison, Wisc.: Coda Press, 1980.
- Woolley, Benjamin. *The Bride of Science: Romance, Reason, and Byron's Daughter*. Nueva York: McGraw-Hill, 1999.

- Wynter, Andrew. «The Electric Telegraph». *Quarterly Review* 95 (1854): 118-164.
- , *Subtle Brains and Lissom Fingers: Being Some of the Chisel-Marks of Our Industrial and Scientific Progress*. Londres: Robert Hardwicke, 1863.
- Yeo, Richard. «Reading Encyclopedias: Science and the Organization of Knowledge in British Dictionaries of Arts and Sciences, 1730-1850». *Isis* 82:1 (1991): 24-49.
- , *Encyclopædic Visions: Scientific Dictionaries and Enlightenment Culture*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- Yockey, Hubert P. *Information Theory, Evolution, and the Origin of Life*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- Young, Peter. *Person to Person: The International Impact of the Telephone*. Cambridge: Granta, 1991.
- Yourgrau, Palle. *A World Without Time: The Forgotten Legacy of Gödel and Einstein*. Nueva York: Basic Books, 2005.
- Yovits, Marshall C., George T. Jacobi, y Gordon D. Goldstein (eds.). *Self-Organizing Systems*. Washington D.C.: Spartan, 1962.



JAMES GLEICK. Escritor, periodista y biógrafo. En sus libros, Gleick explora las ramificaciones culturales de la ciencia y la tecnología. Tres de ellos han sido finalistas del «Premio Pulitzer» y el «National Book Award», y han sido traducidos a más de veinte idiomas.

Nacido en Nueva York el 1 de agosto de 1954, estudió en la Universidad de Harvard, donde se graduó en 1976 con un grado en inglés y lingüística. Habiendo trabajado para el Harvard Crimson, y en Boston como freelance, se mudó a Minneapolis, donde ayudó a fundar el periódico semanal Metropolis. Tras el cierre del periódico, volvió a Nueva York y se incorporó a la plantilla del New York Times, donde trabajó durante diez años como editor y reportero.

Su primer libro, *Caos: La creación de una ciencia*, un best-seller internacional, narra el desarrollo de la Teoría del Caos, e hizo del «efecto mariposa» algo conocido para el público en general.

Entre los científicos sobre cuya vida Gleick ha tratado se encuentran Stephen Jay Gould, Douglas R. Hofstadter, Richard Feynman y Benoît Mandelbrot. Sus primeros informes sobre Microsoft se adelantaron a las investigaciones del Departamento de Justicia de los Estados Unidos y de la Comisión Europea sobre sus prácticas monopolísticas. Los ensayos de Gleick siguiendo el crecimiento de

Internet incluyeron la columna tecnológica de The New York Times Magazine entre 1995 y 1999 y formaron la base de su libro *What Just Happened*. Su trabajo ha aparecido también en The New Yorker, Atlantic, Slate y el Washington Post.

De 1989 a 1990 fue conferenciante en la Universidad de Princeton. Gleick colaboró con el fotógrafo Eliot Porter en *Nature's Chaos* y con los desarrolladores de Autodesk en *Chaos: the Software*. En 1993 fundó Pipeline, un pionero servicio de Internet. Gleick colabora activamente en los tablones de «Authors guild» y «Key West Literary Seminar».

Notas

[P.1] Robert Price, «A Conversation with Claude Shannon: One Man's Approach to Problem Solving», *IEEE Communications Magazine* 22 (1984): 126. <<

[P.2] Walter J. Ong, *Interfaces of the Word* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1977), 105. <<

[P.3] Entrevista a Mary Elizabeth Shannon, 25 de julio de 2006. <<

[P.4] *Statistical Abstract of the United States 1950*. Para ser más exactos: tres mil ciento ochenta y seis emisoras de radio y televisión, quince mil periódicos y semanarios, quinientos millones de libros y panfletos, y cuarenta mil millones de envíos postales. <<

[P.5] George A. Campbell, «On Loaded Lines in Telephonic Transmission»,
Philosophical Magazine 5 (1903): 313. <<

[P.6] Hermann Weyl, «The Current Epistemological Situation in Mathematics» (1925), citado en John L. Bell, «Hermann Weyl on Intuition and the Continuum», *Philosophia Mathematica* 8, nº 3 (2000): 261. <<

[P.7] Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma* (Londres: Vintage, 1992), 251.

<<

[P.8] Letter, Shannon a Vannevar Bush, 16 de febrero de 1939, en Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, N. J. A. Sloane y Aaron D. Wyner, eds. (Nueva York: IEEE Press, 1993), 455. <<

[P.9] Thomas Elyot, *The Boke Named The Governour* (1531), III: xxiv. <<

[P.10] Y añadía secamente: «En este papel, el hombre electrónico es un espécimen tan nómada como sus ancestros del Paleolítico».

Marshall McLuhan, *Understanding Media: The Extensions of Man* (Nueva York: McGraw-Hill, 1965), 302. <<

[P.11] Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker* (Nueva York: Norton, 1986),
112. <<

[P.12] Werner R. Loewenstein, *The Touchstone of Life: Molecular Information, Cell Communication, and the Foundations of Life* (Nueva York: Oxford University Press, 1999), xvi. <<

[P.13] John Archibald Wheeler, «It from Bit», in *At Home in the Universe* (Nueva York: American Institute of Physics, 1994), 296. <<

[P.14] John Archibald Wheeler, «The Search for Links», en Anthony J. G. Hey (ed.), *Feynman and Computation* (Boulder, Colo.: Westview Press, 2002), 321.

<<

[P.15] Seth Lloyd, «Computational Capacity of the Universe», *Physical Review Letters* 88, n° 23 (2002). <<

[P.16] John Archibald Wheeler, «It from Bit», 298. <<

[P.17] John R. Pierce, «The Early Days of Information Theory», *IEEE Transactions on Information Theory* 19, n° 1 (1973): 4. <<

[P.18] Esquilo, según la traducción al inglés de *Prometeo encadenado* de H. Smyth, 460-461. <<

[P.19] Thomas Hobbes, *Leviathan* (Londres: Andrew Crooke, 1660), cap. 4. <<

[1.1] Irma Wassall, «Black Drums», *Phylon Quarterly* 4 (1943): 38. <<

[1.2] Walter J. Ong, *Interfaces of the Word* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1977), 105. <<

[1.3] Francis Moore, *Travels into the Inland Parts of Africa* (Londres: J. Knox, 1767). <<

(1.i) El viaje fue patrocinado por la Sociedad para la Extinción del Tráfico de Esclavos y la Civilización de África, con el fin de entorpecer las actividades de los esclavistas. <<

[1.4] William Allen y Thomas R. H. Thompson, *A Narrative of the Expedition to the River Niger in 1841*, vol. 2 (Londres: Richard Bentley, 1848), 393. <<

[1.5] «The Drum Language of the Tumba People», *American Journal of Sociology* 40, n° 1 (1934): 34-48. <<

[1.6] C. Suetonio Tranquilo, según la traducción inglesa de *Vidas de los doce césares* de John C. Rolfe (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1998), 87. <<

[1.7] Esquilo, según la traducción inglesa de *Agamenón* de Charles W. Eliot, 335.

<<

[1.8] Gerard J. Holzmann y Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks* (Washington, D.C.: IEEE Computer Society, 1995), 17. <<

[1.9] Thomas Browne, *Pseudoxia Epidemica: Or, Enquiries Into Very Many Received Tenents, and Commonly Presumed Truths*, 3^a ed. (Londres: Nath. Ekins, 1658), 59. <<

[1.10] Galileo Galilei, según la traducción inglesa del *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, el ptolemaico y el copernicano* de Stillman Drake (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1967), 95. <<

[1.11] *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*, vol. 2, Edward Lind Morse, ed. (Boston: Houghton Mifflin, 1914), 12. <<

(1.12) Patente 1647 de EEUU, 20 de junio de 1840, 6.

«No obstante, un experimento muy breve puso de manifiesto la superioridad del sistema alfabético», escribiría después, «y los grandes folios del diccionario numérico, que me había costado un sinfín de trabajo..., fueron descartados y se puso en su lugar el alfabético». <<

[1.13] Samuel F. B. Morse, carta a Leonard D. Gale, en *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*, vol. 2, 65. <<

[1.14] *Ibídem*, 64. <<

(1.ii) Los operadores no tardaron en diferenciar los espacios de distinta longitud —el intervalo intercarácter y el intervalo interpalabra—, de modo que en realidad el código Morse utilizaba cuatro signos. <<

[1.15] «The Atlantic Telegraph», *The New York Times*, 7 de agosto de 1858. <<

[1.16] Morse afirmaba que fue él, y sus partidarios discrepan. Cf. *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*, vol. 2, 68; George P. Oslin, *The Story of Telecommunications* (Macon, Ga.: Mercer University Press, 1992), 24; Franklin Leonard Pope, «The American Inventors of the Telegraph», *Century Illustrated Magazine* (abril de 1888): 934; Kenneth Silverman, *Lightning Man: The Accursed Life of Samuel F. B. Morse* (Nueva York: Knopf, 2003), 167. <<

[1.17] John R. Pierce, *An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals, and Noise*, 2^a ed. (Nueva York: Dover, 1980), 25. <<

[1.18] Robert Sutherland Rattray, «The Drum Language of West Africa: Part II»,
Journal of the Royal African Society 22, n° 88 (1923): 302. <<

[1.19] John F. Carrington, *La Voix des tambours: comment comprendre le langage tambouriné d'Afrique* (Kinshasa: Protestant d'Édition et de Diffusion, 1974), 66, citado en Walter J. Ong, *Interfaces of the Word*, 95. <<

[1.20] John F. Carrington, *The Talking Drums of Africa* (Londres: Carey Kingsgate, 1949), 19. <<

[1.21] *Ibídem*, 33. <<

[1.22] Robert Sutherland Rattray, «The Drum Language of West Africa: Part I», *Journal of the Royal African Society* 22, n° 87 (1923): 235. <<

[1.23] Theodore Stern, «Drum and Whistle ‘Languages’: An Analysis of Speech Surrogates», *American Anthropologist* 59 (1957): 489. <<

[1.24] James Merrill, «Eight Bits», in *The Inner Room* (Nueva York: Knopf, 1988), 48. <<

[1.25] Ralph V. L. Hartley, «Transmission of Information», *Bell System Technical Journal* 7 (1928): 535-563. <<

[1.26] John F. Carrington, *The Talking Drums of Africa*, 83. <<

[1.27] Israel Shenker, «Boomlay», *Time*, 22 de noviembre de 1954. <<

[2.1] Ward Just, *An Unfinished Season* (Nueva York: Houghton Mifflin, 2004),
153. <<

[2.2] Walter J. Ong, *Orality and Literacy: The Technologizing of the Word* (Londres: Methuen, 1982), 31. <<

[2.3] Jack Goody & Ian Watt, «The Consequences of Literacy», *Comparative Studies in Society and History* 5, n° 3 (1963): 304-345. <<

[2.4] Frank Kermode, «Free Fall», *New York Review of Books* 10, nº 5 (14 de marzo de 1968). <<

[2.5] Walter J. Ong, *Orality and Literacy*, 12. <<

[2.6] Jonathan Miller, *Marshall McLuhan* (Nueva York: Viking, 1971), 100. <<

[2.7] Platón, según la traducción inglesa de *Fedro* de Benjamin Jowett (Fairfield, Iowa: First World Library, 2008), 275a. <<

[2.8] Marshall McLuhan, «Culture Without Literacy», en Eric McLuhan y Frank Zingrone (eds.), *Essential McLuhan* (Nueva York: Basic Books, 1996), 305. <<

[2.9] Plinio el Viejo, según la traducción inglesa de *Historia natural*, vol. 2, de Philemon Holland (Londres: 1601), 581. <<

[2.10] Samuel Butler, *Essays on Life, Art, and Science* (Port Washington, N.Y.: Kennikat Press, 1970), 198. <<

[2.11] David Diringer y Reinhold Regensburger, *The Alphabet: A Key to the History of Mankind*, 3ª ed., vol. 1 (Nueva York: Funk & Wagnalls, 1968), 166.

<<

[2.12] «The Alphabetization of Homer», en Eric Alfred Havelock y Jackson P. Hershbell, *Communication Arts in the Ancient World* (Nueva York: Hastings House, 1978), 3. <<

[2.13] Aristóteles, según la traducción inglesa de *Poética* de William Hamilton Fyfe (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1953), 1447b. <<

[2.14] Eric A. Havelock, *Preface to Plato* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1963), 300-301. <<

[2.15] Aristóteles, *Poética*, 1450b. <<

[2.16] *República*, 6.493e. Cf. Eric A. Havelock, *Preface to Plato*, 282. <<

[2.17] *República*, 6.484b. <<

[2.18] Eric A. Havelock, *Preface to Plato*, 282. <<

[2.19] No todo el mundo está de acuerdo con esta visión. John Halverson la rebate en «Goody and the Implosion of the Literacy Thesis», *Man* 27, n° 2 (1992): 301-317. <<

[2.20] Aristóteles, según la traducción inglesa de *Analytica priora* de A. J. Jenkinson, 1:3. <<

[2.21] Walter J. Ong, *Orality and Literacy*, 49. <<

[2.22] A. R. Luria, *Cognitive Development, Its Cultural and Social Foundations* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1976), 86. <<

[2.23] Walter J. Ong, *Orality and Literacy*, 53. <<

[2.24] Benjamin Jowett, introducción a Platón, *Teeteto* (Teddington, U.K.: Echo Library, 2006), 7. <<

[2.25] Gongsun Long, «When a White Horse Is Not a Horse», trad. ing. de A. C. Graham, en P. J. Ivanhoe *et alii*, *Readings in Classical Chinese Philosophy*, 2^a ed. (Indianápolis, Ind.: Hackett Publishing, 2005), 363-366. Véase también A. C. Graham, *Studies in Chinese Philosophy and Philosophical Literature*, SUNY Series in Chinese Philosophy and Culture (Albany: State University of New York Press, 1990), 178. <<

[2.26] Julian Jaynes, *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind* (Boston: Houghton Mifflin, 1977), 177. <<

[2.27] Thomas Sprat, *The History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge*, 3^a ed. (Londres: 1722), 5. <<

[2.28] Julian Jaynes, *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*, 198. <<

[2.29] Donald E. Knuth, «Ancient Babylonian Algorithms», *Communications of the Association for Computing Machinery* 15, n° 7 (1972): 671-677. <<

(2.i) Es habitual la transcripción de un número cuneiforme de dos posiciones con una coma, como, por ejemplo, «7,30». Pero los escribas no utilizaban esta puntuación, y, de hecho, su notación dejaba sin definir los valores de posición; esto es, era lo que llamaríamos una «notación de coma flotante». Un número de dos posiciones como 7,30 podía ser 450 (siete 60 + treinta 1) o $7 \frac{1}{2}$ (siete 1 + treinta $\frac{1}{60}$). <<

[2.30] Asger Aaboe, *Episodes from the Early History of Mathematics* (Nueva York: L. W. Singer, 1963), 5. <<

[2.31] Otto Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*, 2^a ed. (Providence, R.I.: Brown University Press, 1957), 30 y 40-46. <<

[2.32] Donald E. Knuth, «Ancient Babylonian Algorithms», 672. <<

[2.33] John of Salisbury, *Metalogicon*, I:13, citado y trad. al inglés por M. T. Clanchy, *From Memory to Written Record, England, 1066-1307* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1979), 202. <<

[2.34] *Ibíd.* <<

[2.35] *Fedro*, trad. ing. de Benjamin Jowett, 275d. <<

[2.36] Marshall McLuhan, «Media and Cultural Change», en *Essential McLuhan*,
92. <<

(2.37) Jonathan Miller, *Marshall McLuhan*, 3.

No es que Miller esté de acuerdo. Al contrario, «Resulta difícil sobrestimar los sutiles efectos reflexivos de las letras en la imaginación creativa, proporcionando, como hace, un depósito acumulativo de ideas, imágenes y frases hechas, cuyos ricos y valiosos fondos cualquier artista tiene el derecho de utilizar sin restricciones». <<

[2.38] Entrevista publicada en *Playboy*, marzo de 1969, en *Essential McLuhan*, 240. <<

(2.ii) El entrevistador preguntó con un aire de tristeza, «¿Pero no hay otras ventajas en la interiorización, en la comprensión y en la diversidad cultural que compensen al hombre que ha dejado de ser tribal?». McLuhan respondió, «Su pregunta refleja todas las desviaciones institucionalizadas del hombre alfabetizado». <<

[2.39] Thomas Hobbes, *Leviathan, or The Matter, Forme and Power of a Commonwealth, Ecclesiasticall, and Civill* (1651; reimpr., Londres: George Routledge and Sons, 1886), 299. <<

[2.40] Walter J. Ong, «This Side of Oral Culture and of Print», *Lincoln Lecture* (1973), 2. <<

[2.41] Walter J. Ong, *Orality and Literacy*, 14. <<

[3.1] Thomas Sprat, *The History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge*, 3^a ed. (Londres: 1722), 42. <<

[3.2] Robert Cawdrey, *A Table Alphabeticall* (Londres: Edmund Weaver, 1604) está disponible en la Bodleian Library; en una edición facsímil, Robert A. Peters, ed. (Gainesville, Fla.: Scholars' Facsimiles & Reprints, 1966); online a través de «University of Toronto Library»; y la version más satisfactoria incluida en John Simpson (ed.), *The First English Dictionary, 1604: Robert Cawdrey's A Table Alphabeticall* (Oxford: Bodleian Library, 2007). <<

[3.3] Robert Greene, *A Notable Discovery of Coosnage* (1591; reimpr., Gloucester, Reino Unido: Dodo Press, 2008); Albert C. Baugh, *A History of the English Language*, 2ª ed. (Nueva York: Appleton-Century-Crofts, 1957), 252.

<<

[3.4] Richard Mulcaster, *The First Part of the Elementarie Which Entreateth Chiefly of the Right Writing of Our English Tung* (Londres: Thomas Vautroullier, 1582). <<

[3.5] John Simpson (ed.), *The First English Dictionary*, 41. <<

[3.6] John Strype, *Historical Collections of the Life and Acts of the Right Reverend Father in God, John Aylmer* (Londres: 1701), 129, citado en John Simpson (ed.), *The First English Dictionary*, 10. <<

[3.7] Gertrude E. Noyes, «The First English Dictionary, Cawdrey's *Table Alphabeticall*», *Modern Language Notes* 58, n° 8 (1943): 600. <<

[3.8] Edmund Coote, *The English Schoole-maister* (Londres: Ralph Jackson & Robert Dexter, 1596), 2. <<

[3.9] Lloyd W. Daly, *Contributions to a History of Alphabeticization in Antiquity and the Middle Ages* (Bruselas: Latomus, 1967), 73. <<

[3.10] William Dunn Macray, *Annals of the Bodleian Library, Oxford, 1598-1867* (Londres: Rivingtons, 1868), 39. <<

[3.11] Gottfried Leibniz, *Unvorgreifliche Gedanken*, citado y traducido por Werner Hüllen en *English Dictionaries 800-1700: The Topical Tradition* (Oxford: Clarendon Press, 1999), 16n. <<

[3.12] Ralph Lever, *The Arte of Reason* (Londres: H. Bynneman, 1573). <<

[3.13] John Locke, *An Essay Concerning Human Understanding*, cap. 3, secc. 10.

<<

[3.14] Galileo, carta a Mark Welser, 4 de mayo de 1612, trad. ing. de Stillman Drake, en *Discoveries and Opinions of Galileo*, 92. <<

[3.15] Isaac Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, trad. ing. de Andrew Motte (Scholium) 6. <<

[3.16] Jonathon Green, *Chasing the Sun: Dictionary Makers and the Dictionaries They Made* (Nueva York: Holt, 1996), 181. <<

[3.17] Entrevista, John Simpson, 13 de septiembre de 2006. <<

[3.18] Ambrose Bierce, *The Devil's Dictionary* (Nueva York: Dover, 1993), 25.

<<

[3.19] Ludwig Wittgenstein, *Philosophical Investigations*, trad. ing. de G. E. M. Anscombe (Nueva York: Macmillan, 1953), 47. <<

[3.20] James A. H. Murray, «The Evolution of English Lexicography», Romanes Lecture (1900). <<

[3.21] Peter Gilliver *et alii*, *The Ring of Words: Tolkien and the Oxford English Dictionary* (Oxford: Oxford University Press, 2006), 82. <<

[3.22] Anthony Burgess, «OED +», en *But Do Blondes Prefer Gentlemen? Homage to Qwert Yuiop and Other Writings* (Nueva York: McGraw-Hill, 1986), 139. No lo consiguió. En un ensayo publicado posteriormente, «Ameringlish», volvía a quejarse. <<

[3.23] «Writing the *OED*: Spellings», Oxford English Dictionary, <http://www.oed.com/about/writing/spellings.html> (visitado el 6 de abril de 2007). <<

[3.24] Samuel Johnson, prólog... *Dictionary of the English Language* (1755). <<

[3.25] John Simpson (ed.), *The First English Dictionary*, 24. <<

[3.26] «The Death of Lady Mondegreen», *Harper's Magazine*, noviembre de 1954, 48. <<

[3.i] *They hae slain the Earl Amurray, / and Lady Mondegreen.* El verso decía en realidad *They hae slain the Earl Amurray, / and laid him on the green*: «Mataron al conde Amurray y lo depositaron sobre la hierba». «Lo que tienen de bueno los *mondegreens*», decía Sylvia Wright, «es que son mejores que el original». (*N. de los t.*) <<

[3.ii] *A girl with colitis goes by* («Pasa una chica con colitis») sería el *mondegreen* basado en un verso de la canción de los Beatles *Lucy on the Sky with Diamonds* que dice *A girl with kaleidoscope eyes* («Una chica con ojos caleidoscópicos»); el otro ejemplo, *Gladly the cross-eyed bear* («De buena gana el oso bisojo»), es la mala interpretación de un verso de un himno religioso que dice *Gladly the Cross I'll bear* («De buena gana llevaré la cruz»). (N. de los t.) <<

[3.27] Steven Pinker, *The Language Instinct: How the Mind Creates Language* (Nueva York: William Morrow, 1994), 183. <<

[4.1] Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures* (1832), 300; reimpr. en *Science and Reform: Selected Works of Charles Babbage*, editado por Anthony Hyman (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), 200. <<

[4.2] «The Late Mr. Charles Babbage, F.R.S.», *The Times* (Londres), 23 de octubre de 1871. La cruzada de Babbage contra los músicos y los organilleros de la calle no fue en vano; a una nueva ley promulgada en 1864 le pondrían su nombre, «Babbage's Act». Cf. Stephanie Pain, «Mr. Babbage and the Buskers», *New Scientist* 179, n° 2408 (2003): 42. <<

[4.3] N. S. Dodge, «Charles Babbage», *Smithsonian Annual Report of 1873*, 162-197, reimpr. en *Annals of the History of Computing* 22, n° 4 (octubre-diciembre de 2000), 20. <<

[4.4] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher* (Londres: Longman, Green, Longman, Roberts, & Green, 1864), 37. <<

[4.5] *Ibídem*, 385-386. <<

[4.6] Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, 4^a ed. (Londres: Charles Knight, 1835), v. <<

[4.7] *Ibíd.*, 146. <<

[4.8] Henry Prevost Babbage (ed.), *Babbage's Calculating Engines: Being a Collection of Papers Relating to Them; Their History and Construction* (Londres: E. & F. N. Spon, 1889), 52. <<

[4.9] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 67. <<

[4.10] *Charles Babbage and His Calculating Engines: Selected Writings*, ed. de Philip Morrison y Emily Morrison (Nueva York: Dover Publications, 1961), xxiii. <<

[4.11] Élie de Joncourt, *De Natura Et Praeclaro Usu Simplicissimae Speciei Numerorum Trigonalium* (Hagae Comitum: Husson, 1762), citado en Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 54. <<

[4.12] Citado en Elizabeth L. Eisenstein, *The Printing Press as an Agent of Change: Communications and Cultural Transformations in Early-Modern Europe* (Cambridge: Cambridge University Press, 1979), 468. <<

[4.13] Mary Croarken, «Mary Edwards: Computing for a Living in 18th-Century England», *IEEE Annals of the History of Computing* 25, nº 4 (2003): 9-15; y — con un fascinante trabajo de investigación— Mary Croarken, «Tabulating the Heavens: Computing the Nautical Almanac in 18th-Century England», *IEEE Annals of the History of Computing* 25, nº 3 (2003): 48-61. <<

[4.14] Henry Briggs, *Logarithmicall Arithmetike: Or Tables of Logarithmes for Absolute Numbers from an Unite to 100000* (Londres: George Miller, 1631), 1.

<<

[4.15] John Napier, «Dedicatorie», en *A Description of the Admirable Table of Logarithmes*, trad. ing. de Edward Wright (Londres: Nicholas Okes, 1616), 3. <<

[4.16] Henry Briggs a James Ussher, 10 de marzo de 1615, citado por Graham Jagger en Martin Campbell-Kelly *et. al.* (eds.), *The History of Mathematical Tables: From Sumer to Spreadsheets* (Oxford: Oxford University Press, 2003), 56. <<

[4.17] William Lilly, *Mr. William Lilly's History of His Life and Times, from the Year 1602 to 1681* (Londres: Charles Baldwyn, 1715), 236. <<

[4.18] Henry Briggs, *Logarithmicall Arithmetike*, 52. <<

[4.19] *Ibídem*, 11. <<

[4.20] Ole I. Franksen, «Introducing ‘Mr. Babbage’s Secret’», *APL Quote Quad* 15, n° 1 (1984): 14. <<

[4.21] Michael Williams, *A History of Computing Technology* (Washington, D.C.: IEEE Computer Society, 1997), 105. <<

[4.22] Michael Mästlin, citado en Ole I. Franksen, «Introducing “Mr. Babbage’s Secret”» 14. <<

[4.23] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 17. <<

[4.24] Simon Schaffer, «Babbage's Dancer», en Francis Spufford y Jenny Uglow (eds.), *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention* (Londres: Faber and Faber, 1996), 58. <<

[4.25] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 26-27. <<

[4.26] W. W. Rouse Ball, *A History of the Study of Mathematics at Cambridge* (Cambridge: Cambridge University Press, 1889), 117. <<

[4.27] *Charles Babbage and His Calculating Engines*, 23. <<

[4.28] *Ibíd.*, 31. <<

[4.29] C. Gerhardt (ed.), *Die Philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz*, vol. 7 (Berlín: Olms, 1890), 12, citado por Kurt Gödel en «Russell's Mathematical Logic» (1944), en *Kurt Gödel: Collected Works*, vol. 2, editado por Solomon Feferman (Nueva York: Oxford University Press, 1986), 140. <<

[4.30] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 25. <<

[4.31] *Charles Babbage and His Calculating Engines*, 25. <<

(4.i) El juego de palabras en cuestión es intraducible en español: «La Edad del Punto de la Universidad» es en inglés *the Dot-Age of University*; la expresión *Dot-Age* puede confundirse con el sustantivo homófono *dotage*, «chochez, senilidad», de modo que la «Edad del Punto de la Universidad» sonaría igual que «la chochez de la Universidad». (*N. de los t.*) <<

[4.32] Charles Babbage, *Memoirs of the Analytical Society*, prefacio (1813), en Anthony Hyman (ed.), *Science and Reform: Selected Works of Charles Babbage* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), 15-16. <<

[4.33] Agnes M. Clerke, *The Herschels and Modern Astronomy* (Nueva York: Macmillan, 1895), 144. <<

[4.34] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 34. <<

[4.35] *Ibídem*, 42. <<

[4.36] *Ibíd.*, 41. <<

(4.37) Leibniz soñaba con mecanizar el álgebra e incluso la propia razón. «Alabemos finalmente esta máquina», decía. «Será deseable para todos aquellos que se dedican al cálculo [...] los encargados de administrar asuntos financieros, los administradores de las fincas de otros, los comerciantes, proveedores, geógrafos, navegantes, astrónomos [...] Pues es indigno de hombres excelentes perder horas como esclavos en el trabajo del cálculo».

«*Machina arithmetica in qua non additio tantum et subtractio sed et multiplicatio nullo, divisio vero paene nullo animi labore peragantur*», trad. ing. de M. Kormes, 1685, en D. E. Smith, *A Source Book in Mathematics* (Nueva York: McGraw-Hill, 1929), 173. <<

[4.38] Charles Babbage, *A Letter to Sir Humphry Davy on the Application of Machinery to the Purpose of Calculating and Printing Mathematical Tables* (Londres: J. Booth & Baldwin, Cradock & Joy, 1822), 1. <<

[4.39] Babbage a David Brewster, 6 de noviembre de 1822, en Martin Campbell-Kelly (ed.), *The Works of Charles Babbage* (Nueva York: New York University Press, 1989) 2:43. <<

[4.40] Dionysius Lardner, «Babbage's Calculating Engine», *Edinburgh Review* 59, n° 120 (1834), 282; y Edward Everett, «The Uses of Astronomy», en *Orations and Speeches on Various Occasions* (Boston: Little, Brown, 1870), 447. <<

[4.41] Martin Campbell-Kelly, «Charles Babbage's Table of Logarithms (1827)», *Annals of the History of Computing* 10 (1988): 159-169. <<

[4.42] Dionysius Lardner, «Babbage's Calculating Engines», 282. <<

[4.43] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 52. <<

[4.44] *Ibídem*, 60-62. <<

[4.45] Babbage a John Herschel, 10 de agosto de 1814, citado en Anthony Hyman, *Charles Babbage: Pioneer of the Computer* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1982), 31. <<

[4.46] David Brewster a Charles Babbage, 3 de julio de 1821, citado en J. M. Dubbey, *The Mathematical Work of Charles Babbage* (Cambridge: Cambridge University Press, 1978), 94. <<

[4.47] Babbage a John Herschel, 27 de junio de 1823, citado en Anthony Hyman, *Charles Babbage*, 53. <<

[4.48] Dionysius Lardner, «Babbage's Calculating Engines», 264. <<

[4.49] «Address of Presenting the Gold Medal of the Astronomical Society to Charles Babbage», en *Charles Babbage and His Calculating Engines*, 219. <<

[4.50] Dionysius Lardner, «Babbage's Calculating Engines», 288-300. <<

[4.51] Charles Babbage, «On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 116, n° 3 (1826): 250-265. <<

(4.ii) Otro invitado, Charles Dickens, puso algo de Babbage en el personaje de Daniel Doyce en *La pequeña Dorrit*. Doyce es un inventor maltratado por el gobierno al que intenta servir: «Es célebre como hombre sumamente ingenioso [...] está perfeccionando un invento (que comporta un curiosísimo proceso secreto) de gran importancia para su país y sus congéneres. No quiero ni decir cuánto dinero le cuesta, ni cuántos años de su vida le ha dedicado, pero lo ha llevado a la perfección». Y añadía Dickens: «Podía apreciarse en Daniel Doyce una comedia y modesta autosuficiencia, una serena conciencia de que lo que es verdad debe seguir siendo siempre verdad». <<

[4.52] Citado en *Charles Babbage and His Calculating Engines*, xxiii. Los Morrison indican que, por lo visto, Tennyson cambió en realidad «minuto» por «momento» en las ediciones posteriores a 1850. <<

[4.53] Harriet Martineau, *Autobiography* (1877), citado en Anthony Hyman, *Charles Babbage*, 129. <<

[4.54] Citado en Doron Swade, *The Difference Engine: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer* (Nueva York: Viking, 2001), 132. <<

[4.55] Citado en *ibídem*, 38. <<

[4.56] Anuncio publicado en *The Builder*, 31 de diciembre de 1842, <http://www.victorianlondon.org/photography/adverts.htm> (visitado el 7 de marzo de 2006). <<

[4.57] Lord Byron, «Childe Harold's Pilgrimage», canto 3, 118. <<

[4.58] Byron a Augusta Leigh, 12 de octubre de 1823, en Leslie A. Marchand (ed.), *Byron's Letters and Journals*, vol. 9 (Londres: John Murray, 1973-1994), 47. <<

[4.59] Ada a lady Byron, 3 de febrero de 1828, en Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers: Prophet of the Computer Age* (Mill Valley, Calif.: Strawberry Press, 1998), 25. <<

[4.60] Ada a lady Byron, 2 de abril de 1828, *ibídem*, 27. <<

[4.61] Ada a Mary Somerville, 20 de febrero de 1835, *ibídem*, 55. <<

[4.62] *Ibídem*, 33. <<

[4.63] Sophia Elizabeth De Morgan, *Memoir of Augustus De Morgan* (Londres: Longmans, Green, 1882), 89. <<

[4.64] Ada a Dr. William King, 24 de marzo de 1834, en Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, 45. <<

[4.65] Ada a Mary Somerville, 8 de julio de 1834, *ibídem*, 46. <<

[4.66] «Of the Analytical Engine», en *Charles Babbage and His Calculating Engines*, 55. <<

[4.67] *Ibídem*, 65. <<

[4.68] Ada a Mary Somerville, 22 de junio de 1837, en Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, 70. <<

[4.69] Ada a lady Byron, 26 de junio de 1838, *ibídem*, 78. <<

[4.70] Ada a Babbage, noviembre de 1839, *ibídem*, 82. <<

[4.71] Ada a Babbage, 16 de febrero de 1840, *ibídem*, 83. <<

[4.72] Augustus De Morgan a lady Byron, citado en Betty Alexandra Toole, «Ada Byron, Lady Lovelace, an Analyst and Metaphysician», *IEEE Annals of the History of Computing* 18, nº 3 (1996), 7. <<

[4.73] Ada a Babbage, 16 de febrero de 1840, en Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, 83. <<

[4.74] Ada a Augustus De Morgan, 3 de febrero de 1841, *ibídem*, 99. <<

[4.75] Ensayo sin título, 5 de enero de 1841, *ibídem*, 94. <<

[4.76] Ada a Woronzow Greig, 15 de enero de 1841, *ibídem*, 98. <<

[4.77] Ada a lady Byron, 6 de febrero de 1841, *ibídem*, 101. <<

[4.78] *Charles Babbage and His Calculating Engines*, 113. Él añadió:
«Posiblemente podamos enviar un rayo para adelantar al culpable...». <<

[4.79] Citado en Anthony Hyman, *Charles Babbage*, 185. <<

[4.80] *Bibliothèque Universelle de Genève*, n° 82 (octubre de 1842). <<

[4.81] Ada a Babbage, 4 de julio de 1843, en Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, 145. <<

[4.82] Nota A (de la traductora, Ada Lovelace) a L. F. Menabrea, «Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage», en *Charles Babbage and His Calculating Engines*, 247. <<

[4.83] *Ibídem*, 252. <<

[4.84] H. Babbage, «The Analytical Engine», trabajo leído en una conferencia celebrada en Bath, 12 de septiembre de 1888, en *Charles Babbage and His Calculating Engines*, 331. <<

[4.85] Nota D (de la traductora, Ada Lovelace) a L. F. Menabrea, «Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage». <<

[4.86] Ada a Babbage, 5 de julio de 1843, en Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, 147. <<

[4.87] Nota D (de la traductora, Ada Lovelace) a L. F. Menabrea, «Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage». <<

[4.88] Ada a Babbage, 13 de julio de 1843, en Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, 149. <<

[4.89] Ada a Babbage, 22 de julio de 1843, *ibídem*, 150. <<

[4.90] Ada a Babbage, 30 de julio de 1843, *ibídem*, 157. <<

[4.91] H. P. Babbage, «The Analytical Engine», 333. <<

[4.92] «Maelzel's Chess-Player», en *The Prose Tales of Edgar Allan Poe: Third Series* (Nueva York: A. C. Armstrong & Son, 1889), 230. <<

[4.93] Ralph Waldo Emerson, *Society and Solitude* (Boston: Fields, Osgood, 1870), 143. <<

[4.94] Oliver Wendell Holmes, *The Autocrat of the Breakfast-Table* (Nueva York: Houghton Mifflin, 1893), 11. <<

[4.95] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 235. <<

[4.96] «On the Age of Strata, as Inferred from the Rings of Trees Embedded in Them», de Charles Babbage, *The Ninth Bridgewater Treatise: A Fragment* (Londres: John Murray, 1837), en *Charles Babbage and His Calculating Engines*, 368. <<

[4.97] Charles Babbage, *On the Economy of Machinery*, 10. <<

[4.98] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 447. <<

[4.99] Charles Babbage, *On the Economy of Machinery*, 273. <<

[4.100] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 460. <<

[4.101] *Ibíd.*, 301. <<

[4.102] Jenny Uglow, «Possibility», en Francis Spufford y Jenny Uglow, *Cultural Babbage*, 20. <<

[4.103] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, 450. <<

[4.104] Ada a lady Byron, 10 de agosto de 1851, en Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, 287. <<

[4.105] Ada a lady Byron, 29 de octubre de 1851, *ibídem*, 291. <<

[5.1] Nathaniel Hawthorne, *The House of the Seven Gables* (Boston: Ticknor, Reed, & Fields, 1851), 283. <<

[5.2] Se encargaban de todo el tráfico «con facilidad y no de manera muy continuada» «Central Telegraph Stations», *Journal of the Society of Telegraph Engineers* 4 (1875): 106. <<

[5.3] Andrew Wynter, «The Electric Telegraph», *Quarterly Review* 95 (1854): 118-164. <<

[5.4] Iwan Rhys Morus, «‘The Nervous System of Britain’: Space, Time and the Electric Telegraph in the Victorian Age», *British Journal of the History of Science* 33 (2000): 455-475. <<

[5.5] Citado en Iwan Rhys Morus, «‘The Nervous System of Britain’», 471. <<

[5.6] «Edison's Baby», *The New York Times*, 27 de octubre de 1878, 5. <<

[5.7] «The Future of the Telephone», *Scientific American*, 10 de enero de 1880.

<<

[5.8] Alexander Jones, *Historical Sketch of the Electric Telegraph: Including Its Rise and Progress in the United States* (Nueva York: Putnam, 1852), v. <<

[5.9] William Robert Grove, citado en Iwan Rhys Morus, «‘The Nervous System of Britain’» 463. <<

[5.10] Dionysius Lardner, *The Electric Telegraph*, revisado y reescrito por Edward B. Bright (Londres: James Walton, 1867), 6. <<

[5.11] «The Telegraph», *Harper's New Monthly Magazine*, 47 (agosto de 1873),
337. <<

[5.12] «The Electric Telegraph», *The New York Times*, 11 de noviembre de 1852.

<<

[5.13] Job 38:35; Dionysus Lardner, *The Electric Telegraph*. <<

(5.14) Pero el conde Miot de Melito afirmaba en sus memorias que Chappe sometió su idea a la aprobación del Departamento de la Guerra con el nombre de *tachygraphe* («taquígrafo»), y que él, Miot, fue el que propuso cambiarlo por el de *télégraphe*, que «se ha convertido en una palabra, como aquel que dice, familiar».

Memoirs of Count Miot de Melito, vol. 1, trad. ing. de Cashel Hoey y John Lillie (Londres: Sampson Low, 1881), 44n. <<

[5.15] Gerard J. Holzmann y Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks* (Washington, D.C.: IEEE Computer Society, 1995), 52 ss. <<

[5.16] «*Lettre sur un nouveau télégraphe*», citado en Jacques Attali & Yves Stourdze, «The Birth of the Telephone and the Economic Crisis: The Slow Death of Monologue in French Society», en Ithiel de Sola Poolin (ed.), *The Social Impact of the Telephone* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1977), 97. <<

[5.17] Gerard J. Holzmann y Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks*,
59. <<

[5.18] Bertrand Barère de Vieuxac, 17 de agosto de 1794, citado en *ibídem*, 64. <<

[5.19] *Taliaferro P. Shaffner, The Telegraph Manual: A Complete History and Description of the Semaphoric, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa, and America, Ancient and Modern* (Nueva York: Pudney & Russell, 1859), 42. <<

[5.20] Gerard J. Holzmann y Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks*,
81. <<

[5.21] Charles Dibdin, «The Telegraph», en *The Songs of Charles Dibdin, Chronologically Arranged*, vol. 2 (Londres: G. H. Davidson, 1863), 69. <<

[5.22] Taliaferro P. Shaffner, *The Telegraph Manual*, 31. <<

[5.23] Gerard J. Holzmann y Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks*,
56. <<

[5.24] *Ibídem*, 91. <<

[5.25] *Ibíd.*, 93. <<

[5.26] J. J. Fahie, *A History of Electric Telegraphy to the Year 1837* (Londres: E. & F. N. Spon, 1884), 90. <<

[5.27] E. A. Marland, *Early Electrical Communication* (Londres: Abelard-Schuman, 1964), 37. <<

[5.28] «El intento de Dyer de introducir su telégrafo para uso general tuvo muy mala acogida, y, asustado ante algunas demostraciones de ese rechazo, Dyer optó por abandonar el país». Chauncey M. Depew, *One Hundred Years of American Commerce* (Nueva York: D. O. Haynes, 1895), 126. <<

[5.29] John Pickering, *Lecture on Telegraphic Language* (Boston: Hilliard, Gray, 1833), 11. <<

[5.30] Citado en Daniel R. Headrick, *When Information Came of Age: Technologies of Knowledge in the Age of Reason and Revolution, 1700-1850* (Oxford: Oxford University Press, 2000), 200. <<

[5.31] John Pickering, *Lecture on Telegraphic Language*, 26. <<

[5.32] Manuscrito de Davy, citado en J. J. Fahie, *A History of Electric Telegraphy to the Year 1837*, 351. <<

[5.33] William Fothergill Cooke, *The Electric Telegraph: Was it Invented By Professor Wheatstone?* (Londres: W. H. Smith & Son, 1857), 27. <<

[5.34] Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph: With the Reports of Congress, and a Description of All Telegraphs Known, Employing Electricity Or Galvanism* (Filadelfia: Lea & Blanchard, 1847), 178. <<

[5.35] *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*, vol. 2 (Boston: Houghton Mifflin, 1914), 21. <<

[5.36] Recordado por R. W. Habersham, *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*. <<

[5.37] Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph*, 70. <<

[5.38] Andrew Wynter, «The Electric Telegraph», 128. <<

[5.39] Laurence Turnbull, *The Electro-Magnetic Telegraph, With an Historical Account of Its Rise, Progress, and Present Condition* (Philadelphia: A. Hart, 1853), 87. <<

[5.40] «The Trial of John Tawell for the Murder of Sarah Hart by Poison, at the Aylesbury Spring Assizes, before Mr. Baron Parks, on March 12th 1845», en William Otter Woodall, *A Collection of Reports of Celebrated Trials* (Londres: Shaw & Sons, 1873). <<

[5.41] John Timbs, *Stories of Inventors and Discoverers in Science and the Useful Arts* (Londres: Kent, 1860), 335. <<

[5.42] Citado en Tom Standage, *The Victorian Internet: The Remarkable Story of the Telegraph and the Nineteenth Century's On-Line Pioneers* (Nueva York: Berkeley, 1998), 55. <<

[5.43] Alexander Jones, *Historical Sketch of the Electric Telegraph*, 121. <<

[5.44] Charles Maybury Archer (ed.), *The London Anecdotes: The Electric Telegraph*, vol. 1 (Londres: David Bogue, 1848), 85. <<

[5.45] *Littell's Living Age* 6, n° 63 (26 de julio de 1845): 194. <<

[5.46] Andrew Wynter, «The Electric Telegraph», 138. <<

[5.47] Alexander Jones, *Historical Sketch of the Electric Telegraph*, 6. <<

[5.48] «The Atlantic Telegraph», *The New York Times*, 6 de agosto de 1858, 1. <<

[5.49] Charles Maybury Archer, *The London Anecdotes*, 51. <<

[5.50] *Ibíd.*, 73. <<

[5.51] George B. Prescott, *History, Theory, and Practice of the Electric Telegraph* (Boston: Ticknor and Fields, 1860), 5. <<

[5.52] *The New York Times*, 7 de agosto de 1858, 1. <<

[5.53] Citado en Iwan Rhys Morus, «‘The Nervous System of Britain’», 463. <<

[5.54] Charles Wilkes a S. F. B. Morse, 13 de junio de 1844, en Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph*, 60. <<

[5.55] Citado en Adam Frank, «Valdemar's Tongue, Poe's Telegraphy», *ELH* 72 (2005): 637. <<

[5.56] Andrew Wynter, «The Electric Telegraph», 133. <<

[5.57] Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph*, viii. <<

[5.58] Acuerdo entre Cooke y Wheatstone, 1843, en William Fothergill Cooke, *The Electric Telegraph*, 46. <<

[5.59] «The Telegraph», *Harper's New Monthly Magazine*, 336. <<

[5.60] Andrew Wynter, *Subtle Brains and Lissom Fingers: Being Some of the Chisel-Marks of Our Industrial and Scientific Progress* (Londres: Robert Hardwicke, 1863), 363. <<

[5.61] Robert Frost, «The Line-Gang», 1920. <<

[5.62] *Littell's Living Age* 6, n° 63 (26 de julio de 1845): 194. <<

[5.63] «The Telegraph», *Harper's New Monthly Magazine*, 333. <<

[5.64] Andrew Wynter, *Subtle Brains and Lissom Fingers*, 371. <<

[5.65] Andrew Wynter, «The Electric Telegraph», 132. <<

[5.66] Alexander Jones, *Historical Sketch of the Electric Telegraph*, 123. <<

[5.67] Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph*, 46. <<

[5.68] Francis O. J. Smith, *The Secret Corresponding Vocabulary; Adapted for Use to Morse's Electro-Magnetic Telegraph: And Also in Conducting Written Correspondence, Transmitted by the Mails, or Otherwise* (Portland, Maine: Thurston, Ilsley, 1845). <<

[5.69] Ejemplos de William Clauson-Thue, *Th... C Universal Commercial Electric Telegraph Code*, 4^a ed. (Londres: Eden Fisher, 1880). <<

[5.70] *Ibídem*, iv. <<

[5.71] *Primrose v. Western Union Tel. Co.*, 154 U.S. 1 (1894); «Not Liable for Errors in Ciphers», *The New York Times*, 27 de mayo de 1894, 1. <<

[5.72] Publicado de nuevo más tarde, con el autor identificado, en John Wilkins, *Mercury: Or the Secret and Swift Messenger. Shewing, How a Man May With Privacy and Speed Communicate His Thoughts to a Friend At Any Distance*, 3^a ed. (Londres: John Nicholson, 1708). <<

[5.73] John Aubrey, *Brief Lives*, edición de Richard Barber (Woodbridge, Suffolk: Boydell Press, 1982), 324. <<

[5.74] John Wilkins, *Mercury: Or the Secret and Swift Messenger*, 62. <<

[5.75] *Ibíd.*, 69. <<

[5.76] David Kahn, *The Codebreakers: The Story of Secret Writing* (Londres: Weidenfeld & Nicolson, 1968), 189. <<

[5.77] «A Few Words on Secret Writing», *Graham's Magazine*, julio de 1841; Edgar Allan Poe, *Essays and Reviews* (Nueva York: Library of America, 1984), 1277. <<

[5.78] *The Literati of New York* (1846), en Edgar Allan Poe, *Essays and Reviews*, 1172. <<

[5.79] Cf. William F. Friedman, «Edgar Allan Poe, Cryptographer», *American Literature* 8, n° 3 (1936): 266-280; Joseph Wood Krutch, *Edgar Allan Poe: A Study in Genius* (Nueva York: Knopf, 1926). <<

[5.80] Lewis Carroll, «The Telegraph-Cipher», posta... 12 cm., Berol Collection,
New York University Library. <<

[5.81] Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher* (Londres: Longman, Green, Longman, Roberts, & Green, 1864), 235. <<

[5.82] Simon Singh, *The Code Book: The Secret History of Codes and Codebreaking* (Londres: Fourth Estate, 1999), 63 ss. <<

[5.83] Dionysius Lardner, «Babbage's Calculating Engines», *Edinburgh Review* 59, n° 120 (1834): 315-317. <<

[5.84] De Morgan a Boole, 28 de noviembre de 1847, en G. C. Smith (ed.), *The Boole-De Morgan Correspondence 1842-1864* (Oxford: Clarendon Press, 1982), 25. <<

[5.85] De Morgan a Boole, borrador, no enviado, ibídem, 27. <<

[5.86] Citado por Samuel Neil, «The Late George Boole, LL.D., D.C.L.» (1865), en James Gasser (ed.), *A Boole Anthology: Recent and Classical Studies in the Logic of George Boole* (Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic, 2000), 16. <<

[5.87] George Boole, *An Investigation of the Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities* (Londres: Walton & Maberly, 1854), 34. <<

[5.88] *Ibíd.*, 24-25. <<

[5.89] *Ibídem*, 69. <<

[5.90] «The Telegraph», *Harper's New Monthly Magazine*, 359. <<

[5.91] Lewis Carroll, *Symbolic Logic: Part I, Elementary* (Londres: Macmillan, 1896), 112 y 131. Y cf. Steve Martin, *Born Standing Up: A Comic's Life* (Nueva York: Simon & Schuster, 2007), 74. <<

[5.92] Bertrand Russell, *Mysticism and Logic* (1918; reimpr., Mineola, N.Y.: Dover, 2004), 57. <<

[6.1] James Clerk Maxwell, «The Telephone», Rede Lecture, Cambridge 1878, «*illustrated with the aid of Mr. Gower's telephonic harp*», en W. D. Niven (ed.), *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, vol. 2 (Cambridge: Cambridge University Press, 1890; reimpr., Nueva York: Dover, 1965), 750. <<

[6.2] «Tan pequeño que cuando recorrías un par de manzanas, te encontrabas en medio del campo». Entrevista de Shannon con Anthony Liversidge, *Omni* (agosto de 1987), en Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, edición de N. J. A. Sloane y Aaron D. Wyner (Nueva York: IEEE Press, 1993), xx. <<

[6.3] «In the World of Electricity», *The New York Times*, 14 de julio de 1895, 28.

<<

[6.4] David B. Sicilia, «How the West Was Wired», *Inc.*, 15 de junio de 1997. <<

[6.5] 1843; *Complete Stories and Poems of Edgar Allan Poe* (Nueva York: Doubleday, 1966), 71. <<

[6.6] *Ibídem*, 90. <<

[6.7] *The New York Times*, 21 de octubre de 1927. <<

[6.8] Vannevar Bush, «As We May Think», *The Atlantic* (julio de 1945). <<

[6.9] Shannon a Rudolf E. Kalman, 12 de junio de 1987, «Manuscript Division»,
Library of Congress. <<

[6.10] Claude Shannon, «A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits»,
Transactions of the American Institute of Electrical Engineers 57 (1938): 38-50.

<<

[6.11] Vannevar Bush a Barbara Burks, 5 de enero de 1938, «Manuscript Division», Library of Congress. <<

[6.12] Claude Shannon, *Collected Papers*, 892. <<

(6.13) En una valoración efectuada cuarenta años después, el genetista James C. Crow decía: «Parece que hubiera sido escrita al margen de la comunidad de estudiosos de la genética [...] [Shannon] descubrió unos principios que fueron redescubiertos más tarde [...] Lo que yo lamento es que el estudio no fuera conocido por el gran público especializado en 1940. En mi opinión, habría cambiado sustancialmente la historia de este campo».

Ibídem, 921. <<

[6.14] Claude Shannon a Vannevar Bush, 16 de febrero de 1939, en Claude Shannon, *Collected Papers*, 455. <<

[6.15] Leibniz a Jean Galloys, diciembre de 1678, en Martin Davis, *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing* (Nueva York: Norton, 2000), 16.

<<

[6.16] Alfred North Whitehead y Bertrand Russell, *Principia Mathematica*, vol. 1 (Cambridge: Cambridge University Press, 1910), 2. <<

[6.17] Bertrand Russell, «Mathematical Logic Based on the Theory of Types»,
American Journal of Mathematics 30, nº 3 (julio de 1908): 222. <<

[6.18] Douglas R. Hofstadter, *I Am a Strange Loop* (Nueva York: Basic Books, 2007), 109. <<

(6.19) En inglés estándar, como señalaba Russell, es ciento once mil setecientos setenta y siete (*one hundred and eleven thousand seven hundred and seventy-seven*).

Alfred North Whitehead y Bertrand Russell, *Principia Mathematica*, vol. 1, 61.

<<

[6.20] «The Philosophy of Logical Atomism» (1910), en Bertrand Russell, *Logic and Knowledge: Essays, 1901-1950* (Londres: Routledge, 1956), 261. <<

[6.21] Kurt Gödel, «On Formally Undecidable Propositions of *Principia Mathematica* and Related Systems I» (1931), en *Kurt Gödel: Collected Works*, vol. 1, edición de Solomon Feferman (Nueva York: Oxford University Press, 1986), 146. <<

[6.22] Kurt Gödel, «Russell's Mathematical Logic» (1944), en *Kurt Gödel: Collected Works*, vol. 2, 119. <<

[6.23] Kurt Gödel, «On Formally Undecidable Propositions of *Principia Mathematica* and Related Systems I» (1931), 145. <<

[6.24] *Ibídem*, 151 n15. <<

[6.25] Kurt Gödel, «Russell's Mathematical Logic» (1944), 124. <<

[6.26] Douglas R. Hofstadter, *I Am a Strange Loop*, 166. <<

[6.27] John von Neumann, «Tribute to Dr. Gödel» (1951), citado en Steve J. Heims, *John von Neumann and Norbert Wiener* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1980), 133. <<

[6.28] Russell a Leon Henkin, 1 de abril de 1963. <<

[6.29] Ludwig Wittgenstein, *Remarks on the Foundations of Mathematics* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1967), 158. <<

[6.30] Gödel a Abraham Robinson, 2 de julio de 1973, en *Kurt Gödel: Collected Works*, vol. 5, 201. <<

[6.31] Rebecca Goldstein, *Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel* (Nueva York: Atlas, 2005), 207. <<

[6.32] Hermann Weyl a Claude Shannon, 11 de abril de 1940, «Manuscript Division», Library of Congress. <<

[6.33] David A. Mindell, *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing Before Cybernetics* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2002), 289. <<

[6.34] Vannevar Bush, «Report of the National Defense Research Committee for the First Year of Operation, June 27, 1940, to June 28, 1941», Franklin D. Roosevelt Presidential Library and Museum, 19. <<

[6.35] R. B. Blackman, H. W. Bode, y Claude E. Shannon, «Data Smoothing and Prediction in Fire-Control Systems», Summary Technical Report of Division 7, National Defense Research Committee, vol. 1, *Gunfire Control* (Washington D.C.: 1946), 71-159 y 166-67; David A. Mindell, «Automation's Finest Hour: Bell Labs and Automatic Control in World War II», *IEEE Control Systems* 15 (diciembre de 1995): 72-80. <<

[6.36] Elisha Gray a A. L. Hayes, octubre de 1875, citado en Michael E. Gorman, *Transforming Nature: Ethics, Invention and Discovery* (Boston: Kluwer Academic, 1998), 165. <<

[6.37] Albert Bigelow Paine, *In One Man's Life: Being Chapters from the Personal & Business Career of Theodore N. Vail* (Nueva York: Harper & Brothers, 1921), 114. <<

[6.38] Marion May Dilts, *The Telephone in a Changing World* (Nueva York: Longmans, Green, 1941), 11. <<

[6.39] «The Telephone Unmasked», *The New York Times*, 13 de octubre de 1877,

4. <<

[6.40] *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, W. D. Niven (ed.), vol. 2 (Cambridge: Cambridge University Press, 1890; reimpr. Nueva York: Dover, 1965), 744. <<

[6.41] *Scientific American*, 10 de enero de 1880. <<

[6.42] *Telephones: 1907*, «Special Reports», Bureau of the Census, 74. <<

[6.43] Citado en Ithiel de Sola Pool (ed.), *The Social Impact of the Telephone* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1977), 140. <<

[6.44] J. Clerk Maxwell, «A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field»,
Philosophical Transactions of the Royal Society 155 (1865): 459. <<

[6.45] Michèle Martin, «*Hello, Central?*»: *Gender, Technology, and Culture in the Formation of Telephone Systems* (Montreal: McGill-Queen's University Press, 1991), 55. <<

[6.46] «Proceedings of the National Telephone Exchange Association, 1881», en Frederick Leland Rhodes, *Beginnings of Telephony* (Nueva York: Harper & Brothers, 1929), 154. <<

[6.47] Citado en Peter Young, *Person to Person: The International Impact of the Telephone* (Cambridge: Granta, 1991), 65. <<

[6.48] Herbert N. Casson, *The History of the Telephone* (Chicago: A. C. McClurg, 1910), 296. <<

[6.49] John Vaughn, «The Thirtieth Anniversary of a Great Invention», *Scribner's* 40 (1906): 371. <<

[6.50] G. E. Schindler, Jr. (ed.), *A History of Engineering and Science in the Bell System: Switching Technology 1925-1975* (Bell Telephone Laboratories, 1982).

<<

[6.51] T. C. Fry, «Industrial Mathematics», *Bell System Technical Journal* 20 (julio de 1941): 255. <<

[6.52] Bell Canada Archives, citado en Michèle Martin, «*Hello, Central?*» 23. <<

[6.53] H. Nyquist, «Certain Factors Affecting Telegraph Speed», *Bell System Technical Journal* 3 (abril de 1924): 332. <<

[6.54] R. V. L. Hartley, «Transmission of Information», *Bell System Technical Journal* 7 (julio de 1928): 536. <<

[6.55] *Ibíd.* <<

[6.56] H. Nyquist, «Certain Factors Affecting Telegraph Speed», 333. <<

[6.57] R. V. L. Hartley, «Transmission of Information», 537. <<

[7.1] Jon Barwise, «Information and Circumstance», *Notre Dame Journal of Formal Logic* 27, n° 3 (1986): 324. <<

[7.2] Entrevista de Shannon realizada por Robert Price: «A Conversation with Claude Shannon: One Man's Approach to Problem Solving», *IEEE Communications Magazine* 22 (1984): 125; cf. Alan Turing a Claude Shannon, 3 de junio de 1953, «Manuscript Division», Library of Congress. <<

[7.3] Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma* (Londres: Vintage, 1992), 251.

<<

(7.4) Poco antes de morir Gödel escribiría que «solo gracias al estudio de Turing quedó completamente claro que mi prueba es aplicable a *cualquier* sistema formal que contenga aritmética».

Max H. A. Newman a Alonzo Church, 31 de mayo de 1936, citado en Andrew Hodges, *Alan Turing*, 113. <<

[7.5] Alan M. Turing, «On Computable Numbers, with an Application to the *Entscheidungsproblem*», *Proceedings of the London Mathematical Society* 42 (1936): 230-265. <<

[7.6] Kurt Gödel a Ernest Nagel, 1957, en *Kurt Gödel: Collected Works*, vol. 5, edición de Solomon Feferman (Nueva York: Oxford University Press, 1986), 147. <<

[7.7] Carta de Alan Turing a sus padres, verano de 1923, AMT/K/1/3, Turing Digital Archive, <http://www.turingarchive.org>. <<

[7.8] Alan M. Turing, «On Computable Numbers», 230-265. <<

[7.9] «On the Seeming Paradox of Mechanizing Creativity», en Douglas R. Hofstadter, *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern* (Nueva York: Basic Books, 1985), 535. <<

[7.10] «The Nature of Spirit», ensayo inédito, 1932, en Andrew Hodges, *Alan Turing*, 63. <<

[7.11] Herbert B. Enderton, «Elements of Recursion Theory», en Jon Barwise, *Handbook of Mathematical Logic* (Amsterdam: North Holland, 1977), 529. <<

[7.12] Alan Turing a Sara Turing, 14 de octubre de 1936, citado en Andrew Hodges, *Alan Turing*, 120. <<

[7.13] «Communication Theory of Secrecy Systems» (1948), en Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, edición de N. J. A. Sloane y Aaron D. Wyner (Nueva York: IEEE Press, 1993), 90. <<

[7.14] *Ibídem*, 113. <<

[7.15] Edward Sapir, *Language: An Introduction to the Study of Speech* (Nueva York: Harcourt, Brace, 1921), 21. <<

[7.16] «Communication Theory of Secrecy Systems», en Claude Shannon, *Collected Papers*, 85. <<

(7.i) «Sin considerar la estructura estadística de distancias superiores a unas ocho letras». <<

[7.17] *Ibídem*, 97. <<

[7.18] «Communication Theory-Exposition of Fundamentals», *IRE Transactions on Information Theory*, nº 1 (febrero de 1950), en Claude Shannon, *Collected Papers*, 173. <<

[7.19] Carta de Warren Weaver a Claude Shannon, 27 de enero de 1949, «Manuscript Division», Library of Congress. <<

[7.20] John R. Pierce, «The Early Days of Information Theory», *IEEE Transactions on Information Theory* 19, n° 1 (1973): 4. <<

[7.21] Claude Elwood Shannon y Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication* (Urbana: University of Illinois Press, 1949), 31. <<

[7.22] *Ibídem*, 11. <<

[7.23] «Stochastic Problems in Physics and Astronomy», *Reviews of Modern Physics* 15, n° 1 (enero de 1943), 1. <<

[7.24] M. G. Kendall y B. Babbington Smith, *Table of Random Sampling Numbers* (Cambridge: Cambridge University Press, 1939). Kendall y Smith utilizaban una máquina que «producía» dígitos aleatorios (un disco giratorio con los diez dígitos iluminados a intervalos irregulares por una luz de neón). Anteriormente, en 1927, L. H. C. Tippett publicó una colección de cuarenta y un mil dígitos extraídos de los informes del censo de población, indicando también solo el último dígito de los números. Un artículo bastante ingenuo publicado en 1944 en la *Mathematical Gazette* sostenía que las máquinas no eran necesarias: «Al parecer, en una comunidad moderna, no hay ninguna necesidad de construir una máquina que funcione de manera aleatoria, pues muchísimos aspectos de la vida sociológica se caracterizan por su aleatoriedad [...] Por esta razón, es fácil construir una serie de números aleatorios utilizables en la vida cotidiana simplemente leyendo los números de las matrículas de los automóviles que van circulando ante nosotros por las calles, pues los automóviles, aunque están numerados siguiendo una correlación, no siguen correlación alguna cuando circulan por nuestras calles; no obstante, hay que evitar cometer errores evidentes, como, por ejemplo, incluir en el cómputo los números de las matrículas que podamos leer todas las mañanas cuando nos dirigimos a la estación caminando por nuestra calle, en la que el automóvil del Sr. Smith está siempre aparcado frente al número 49». Frank Sandon, «Random Sampling Numbers», *The Mathematical Gazette* 28 (diciembre de 1944): 216. <<

[7.25] Fletcher Pratt, *Secret and Urgent: The Story of Codes and Ciphers* (Garden City, N.Y.: Blue Ribbon, 1939). <<

[7.26] Claude Elwood Shannon y Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, 18. <<

[7.27] «Un término sugerido por J. W. Tukey», añadió. John Tukey, especialista en estadística, había sido compañero de dormitorio de Richard Feynman en Princeton, y estuvo trabajando durante un tiempo en los Laboratorios Bell después de la guerra. <<

[7.28] Claude Shannon, «Prediction and Entropy of Printed English», *Bell System Technical Journal* 30 (1951): 50, en Claude Shannon, *Collected Papers*, 94. <<

[7.29] Citado en M. Mitchell Waldrop, «Reluctant Father of the Digital Age», *Technology Review* (julio-agosto de 2001): 64-71. <<

[7.30] Entrevista de Shannon realizada por Anthony Liversidge, *Omni* (agosto de 1987), en Claude Shannon, *Collected Papers*, xxiii. <<

[7.31] Nota manuscrita, 12 de julio de 1949, «Manuscript Division», Library of Congress. <<

[8.1] Heinz von Foerster (ed.), *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems: Transactions of the Seventh Conference, March 23-24, 1950* (Nueva York: Josiah Macy, Jr. Foundation, 1951), 155. <<

[8.2] J. J. Doob, artículo (sin título), *Mathematical Reviews* 10 (febrero de 1949):
133. <<

[8.3] A. Chapanis, artículo (sin título), *Quarterly Review of Biology* 26, nº 3 (septiembre de 1951): 321. <<

[8.4] Arthur W. Burks, artículo (sin título), *Philosophical Review* 60, nº 3 (julio de 1951): 398. <<

[8.5] *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 37 (1949), en Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, edición de N. J. A. Sloane y Aaron D. Wyner (Nueva York: IEEE Press, 1993), 872. <<

[8.6] John R. Pierce, «The Early Days of Information Theory», *IEEE Transactions on Information Theory* 19, n° 1 (1973): 5. <<

[8.7] André-Marie Ampère había utilizado esta palabra, *cibernética*, en 1834 (*Essai sur la philosophie des sciences*). <<

[8.8] «Boy of 14 College Graduate», *The New York Times*, 9 de mayo de 1909, 1.

<<

[8.9] Bertrand Russell a Lucy Donnelly, 19 de octubre de 1913, citado en Steve J. Heims, *John von Neumann and Norbert Wiener* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1980), 18. <<

[8.10] Norbert Wiener a Leo Wiener, 15 de octubre de 1913, citado en Flo Conway y Jim Siegelman, *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Weiner, the Father of Cybernetics* (Nueva York: Basic Books, 2005), 30. <<

[8.11] Norbert Wiener, *I Am a Mathematician: The Later Life of a Prodigy* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1964), 324. <<

[8.12] *Ibídem*, 375. <<

[8.13] Arturo Rosenblueth *et alii*, «Behavior, Purpose and Teleology», *Philosophy of Science* 10 (1943): 18. <<

[8.14] Citado en Warren S. McCulloch, «Recollections of the Many Sources of Cybernetics», *ASC Forum* 6, n° 2 (1974). <<

[8.15] «In Man's Image», *Time*, 27 de diciembre de 1948. <<

[8.16] Norbert Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, 2^a ed. (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1961), 118. <<

[8.17] *Ibídem*, 132. <<

[8.18] Warren S. McCulloch, «Through the Den of the Metaphysician», *British Journal for the Philosophy of Science* 5, n° 17 (1954): 18. <<

[8.19] Warren S. McCulloch, «Recollections of the Many Sources of Cybernetics», 11. <<

[8.20] Steve J. Heims, *The Cybernetics Group* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1991), 22. <<

[8.21] Heinz von Foerster (ed.), *Transactions of the Seventh Conference*, 1 <<

[8.22] *Ibíd.*, 12. <<

(8.23-24) Como señala Jean-Pierre Dupuy: «En el fondo era una situación perfectamente corriente, en la que los científicos echaban la culpa a los no científicos de tomárselos al pie de la letra. Tras meter en la cabeza de la gente la idea de que las máquinas pensantes estaban a la vuelta de la esquina, los cibernéticos intentaron inmediatamente disociarse de cualquier persona lo bastante simplona como para creerse una cosa así».

Ibídem, 18.

Jean-Pierre Dupuy, *The Mechanization of the Mind: On the Origins of Cognitive Science*, trad. ing. de M. B. DeBevoise (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2000), 89. <<

[8.25] Heinz von Foerster (ed.), *Transactions of the Seventh Conference*, 13. <<

[8.26] *Ibídem*, 20. <<

[8.27] Warren S. McCulloch y John Pfeiffer, «Of Digital Computers Called Brains», *Scientific Monthly* 69, nº 6 (1949): 368. <<

[8.28] J. C. R. Licklider, entrevistado por William Aspray y Arthur Norberg, 28 de octubre de 1988, Charles Babbage Institute, University of Minnesota, <http://special.lib.umn.edu/cbi/oh/pdf.phtml?id=180> (visitado el 6 de junio de 2010). <<

[8.29] Heinz von Foerster (ed.), *Transactions of the Seventh Conference*, 66. <<

[8.30] *Ibíd.*, 92. <<

[8.31] *Ibídem*, 100. <<

[8.32] *Ibídem*, 123. <<

[8.33] *Ibíd.*, 135. <<

[8.34] Citado en Flo Conway y Jim Siegelman, *Dark Hero of the Information Age*, 189. <<

[8.35] Heinz von Foerster (ed.), *Transactions of the Seventh Conference*, 143. <<

[8.36] Heinz von Foerster (ed.), *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems: Transactions of the Eighth Conference, March 15-16, 1951* (Nueva York: Josiah Macy, Jr. Foundation, 1952), xiii. <<

[8.37] Heinz von Foerster (ed.), *Transactions of the Seventh Conference*, 151. <<

[8.38] Heinz von Foerster (ed.), *Transactions of the Eighth Conference*, 173. <<

[8.39] «Computers and Automata», en Claude Shannon, *Collected Papers*, 706.

<<

[8.40] Heinz von Foerster (ed.), *Transactions of the Eighth Conference*, 175. <<

[8.41] *Ibídem*, 180. <<

[8.42] Citado en Roberto Cordeschi, *The Discovery of the Artificial: Behavior, Mind, and Machines Before and Beyond Cybernetics* (Dordrecht, Holanda: Springer, 2002), 163. <<

[8.43] Norbert Wiener, *Cybernetics*, 23. <<

[8.44] John Bates a Grey Walter, citado en Owen Holland, «The First Biologically Inspired Robots», *Robotica* 21 (2003): 354. <<

[8.45] Philip Husbands y Owen Holland, «The Ratio Club: A Hub of British Cybernetics», en *The Mechanical Mind in History* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2008), 103. <<

[8.46] *Ibídem*, 110. <<

[8.47] «Brain and Behavior», *Comparative Psychology Monograph*, Series 103 (1950), en Warren S. McCulloch, *Embodiments of Mind* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1965), 307. <<

[8.48] Alan M. Turing, «Computing Machinery and Intelligence», *Minds and Machines* 59, n° 236 (1950): 433-460. <<

[8.49] *Ibídem*, 436. <<

[8.50] *Ibídem*, 439. <<

[8.51] Alan M. Turing, «Intelligent Machinery, A Heretical Theory», conferencia no publicada, ca. 1951, en Stuart M. Shieber (ed.), *The Turing Test: Verbal Behavior as the Hallmark of Intelligence* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2004), 105. <<

[8.52] Alan M. Turing, «Computing Machinery and Intelligence», 442. <<

[8.53] Claude Shannon a C. Jones, 16 de junio de 1952, «Manuscript Division», Library of Congress, con la autorización de Mary E. Shannon. <<

[8.54] Traducido al inglés en William Harvey, *Anatomical Exercises Concerning the Motion of the Heart and Blood* (Londres, 1653), citado en la revisión del borrador «psychology, n», diciembre de 2009, *OED Online*, Oxford University Press, <http://dictionary.oed.com/cgi/entry/50191636>. <<

[8.55] *North British Review* 22 (noviembre de 1854), 181. <<

[8.56] William James a Henry Holt, 9 de mayo de 1890, citado en Robert D. Richardson, *William James: In the Maelstrom of American Modernism* (Nueva York: Houghton Mifflin, 2006), 298. <<

[8.57] George Miller, conversación con Jonathan Miller, en Jonathan Miller, *States of Mind* (Nueva York: Pantheon, 1983), 22. <<

[8.58] Homer Jacobson, «The Informational Capacity of the Human Ear», *Science* 112 (4 de agosto de 1950): 143-144; «The Informational Capacity of the Human Eye», *Science* 113 (16 de marzo de 1951): 292-293. <<

[8.59] G. A. Miller, G. A. Heise, y W. Lichten, «The Intelligibility of Speech as a Function of the Context of the Test Materials», *Journal of Experimental Psychology* 41 (1951): 329-335. <<

[8.60] Donald E. Broadbent, *Perception and Communication* (Oxford: Pergamon Press, 1958), 31. <<

[8.61] *Psychological Review* 63 (1956): 81-97. <<

[8.62] Frederick Adams, «The Informational Turn in Philosophy», *Minds and Machines* 13 (2003): 495. <<

[8.63] Jonathan Miller, *States of Mind*, 26. <<

[8.64] Claude Shannon, «The Transfer of Information», conferencia ofrecida con motivo del LXXV aniversario de la University of Pennsylvania Graduate School of Arts and Sciences, «Manuscript Division», Library of Congress. Reimpr. con la autorización de Mary E. Shannon. <<

[8.65] «The Bandwagon», en Claude Shannon, *Collected Papers*, 462. <<

[8.66] Citado en Steve J. Heims, *The Cybernetics Group*, 277. <<

[8.67] Notas de Neil J. A. Sloane y Aaron D. Wyner en Claude Shannon, *Collected Papers*, 882. <<

[8.68] Claude E. Shannon, «Programming a Computer for Playing Chess», presentado por primera vez en la National IRE Convention, 9 de marzo de 1949, en Claude Shannon, *Collected Papers*, 637; y «A Chess-Playing Machine», *Scientific American* (febrero de 1950), en Claude Shannon, *Collected Papers*, 657. <<

[8.69] Edward Lasker a Claude Shannon, 7 de febrero de 1949, «Manuscript Division», Library of Congress. <<

[8.70] Claude Shannon a C. J. S. Purdy, 28 de agosto de 1952, «Manuscript Division», Library of Congress, con la autorización de Mary E. Shannon. <<

[8.71] Inédito, en Claude Shannon, *Collected Papers*, 861. En realidad, los versos del poema de Cummings «Voices to voices, lip to lip», dicen así: «¿A quién puede importarle que algún cegato hijo de puta / invente un instrumento con el que medir la Primavera?». <<

[8.72] Claude Shannon a Irene Angus, 8 de agosto de 1952, «Manuscript Division», Library of Congress. <<

[8.73] Robert McCracken, «The Sinister Machines», *Wyoming Tribune*, marzo de 1954. <<

[8.74] Peter Elias, «Two Famous Papers», *IRE Transactions on Information Theory* 4, n° 3 (1958): 99. <<

[8.75] E. Colin Cherry, *On Human Communication* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1957), 214. <<

[9.1] David L. Watson, «Entropy and Organization», *Science* 72 (1930): 222. <<

[9.2] Robert Price, «A Conversation with Claude Shannon: One Man's Approach to Problem Solving», *IEEE Communications Magazine* 22 (1984): 124. <<

[9.3] Por ejemplo, J. Johnstone, «Entropy and Evolution», *Philosophy* 7 (julio de 1932): 287. <<

[9.4] James Clerk Maxwell, *Theory of Heat*, 2ª ed. (Londres: Longmans, Green, 1872), 186; 8ª edición (Londres: Longmans, Green, 1891), 189 n. <<

[9.5] Peter Nicholls y David Langford (eds.), *The Science in Science Fiction* (Nueva York: Knopf, 1983), 86. <<

[9.6] Lord Kelvin (William Thomson), «Physical Considerations Regarding the Possible Age of the Sun's Heat», conferencia pronunciada en la asamblea de la British Association celebrada en Manchester, septiembre de 1861, en *Philosophical Magazine* 152 (febrero de 1862): 158. <<

[9.7] Sigmund Freud, «From the History of an Infantile Neurosis», 1918b, 116, en *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud* (Londres: Hogarth Press, 1955). <<

[9.8] James Clerk Maxwell, «Diffusion», artículo escrito para la novena edición de la *Encyclopaedia Britannica*, en *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, W. D. Niven (ed.), vol. 2 (Cambridge: Cambridge University Press, 1890; reimpr. Nueva York: Dover, 1965), 646. <<

[9.9] Léon Brillouin, «Life, Thermodynamics, and Cybernetics» (1949), en Harvey S. Leff y Andrew F. Rex (eds.), *Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing* (Bristol, Reino Unido: Institute of Physics, 2003), 77. <<

[9.10] Richard Feynman, *The Character of Physical Law* (Nueva York: Modern Library, 1994), 106. <<

[9.11] James Clerk Maxwell a John William Strutt, 6 de diciembre de 1870, en Elizabeth Garber, Stephen G. Brush, y C. W. F. Everitt (eds.), *Maxwell on Heat and Statistical Mechanics: On «Avoiding All Personal Enquiries» of Molecules* (Londres: Associated University Presses, 1995), 205. <<

[9.12] Citado por Andrew Hodges, «What Did Alan Turing Mean by ‘Machine’» en Philip Husbands *et alii*, *The Mechanical Mind in History* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2008), 81. <<

[9.13] James Clerk Maxwell a Peter Guthrie Tait, 11 de diciembre de 1867, en *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell*, P. M. Harman (ed.), vol. 3 (Cambridge: Cambridge University Press, 2002), 332. <<

[9.14] Conferencia en la Royal Institution, 28 de febrero de 1879, *Proceedings of the Royal Institution* 9 (1880): 113, en William Thomson, *Mathematical and Physical Papers*, vol. 5 (Cambridge: Cambridge University Press, 1911), 21. <<

[9.15] «Editor's Table», *Popular Science Monthly* 15 (1879): 412. <<

[9.16] Henry Adams a Brooks Adams, 2 de mayo de 1903, en *Henry Adams and His Friends: A Collection of His Unpublished Letters*, edición de Harold Cater (Boston: Houghton Mifflin, 1947), 545. <<

[9.17] Henri Poincaré, *The Foundations of Science*, trad. ing. de George Bruce Halsted (Nueva York: Science Press, 1913), 152. <<

[9.18] James Johnstone, *The Philosophy of Biology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1914), 118. <<

[9.19] Leó Szilárd, «On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings», traducción inglesa realizada por Anatol Rapoport y Mechthilde Knoller de Leó Szilárd, «Über Die Entropieverminderung in Einem Thermodynamischen System Bei Eingriffen Intelligenter Wesen», *Zeitschrift für Physik* 53 (1929): 840-856, en Harvey S. Leff y Andrew F. Rex (eds.), *Maxwell's Demon* 2, 111. <<

[9.20] Citado en William Lanouette, *Genius in the Shadows* (Nueva York: Scribner's, 1992), 64. <<

[9.21] Entrevista de Shannon realizada por Friedrich-Wilhelm Hagemeyer, 1977, citado en Erico Mariu Guizzo, «The Essential Message: Claude Shannon and the Making of Information Theory» (Tesis Doctoral, Massachusetts Institute of Technology, 2004). <<

[9.22] Claude Shannon a Norbert Wiener, 13 de octubre de 1948, Massachusetts Institute of Technology Archives. <<

[9.23] Erwin Schrödinger, *What Is Life?*, ed. reimpr. (Cambridge: Cambridge University Press, 1967), 1. <<

[9.24] Gunther S. Stent, «That Was the Molecular Biology That Was», *Science* 160, n° 3826 (1968): 392. <<

[9.25] Erwin Schrödinger, *What Is Life?*, 69. <<

[9.26] Norbert Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, 2^a ed. (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1961), 58. <<

[9.27] Erwin Schrödinger, *What Is Life?*, 71. <<

[9.28] *Ibídem*, 23. <<

[9.29] *Ibíd.*, 28. <<

[9.30] *Ibíd.*, 61. <<

[9.31] Ibídem, 5 (el subrayado es mío). <<

[9.32] Léon Brillouin, «Life, Thermodynamics, and Cybernetics», 84. <<

[9.33] Léon Brillouin, «Maxwell's Demon Cannot Operate: Information and Entropy», en Harvey S. Leff y Andrew F. Rex (eds.), *Maxwell's Demon 2*, 123.

<<

[9.34] Peter T. Landsberg, *The Enigma of Time* (Bristol: Adam Hilger, 1982), 15.

<<

[10.1] Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker* (Nueva York: Norton, 1986),
112. <<

[10.2] W. D. Gunning, «Progression and Retrogression», *The Popular Science Monthly* 8 (diciembre de 1875): 189, n1. <<

[10.3] Wilhelm Johannsen, «The Genotype Conception of Heredity», *American Naturalist* 45, n° 531 (1911): 130. <<

(10.i) Y añadía: «Los términos antiguos están comprometidos en la mayor parte de los casos por su aplicación en teorías y sistemas anticuados o erróneos, de los cuales contienen aún fragmentos de ideas inadecuadas, no siempre inocuas para el desarrollo de nuevos conceptos». <<

[10.4] «Discontinuity and constant differences between the ‘genes’ are the quotidian bread of Mendelism», *American Naturalist* 45, n° 531 (1911): 147. <<

[10.5] Erwin Schrödinger, *What Is Life?*, ed. reimpr. (Cambridge: Cambridge University Press, 1967), 62. <<

[10.6] Henry Quastler (ed.), *Essays on the Use of Information Theory in Biology* (Urbana: University of Illinois Press, 1953). <<

[10.7] Sidney Dancoff a Henry Quastler, 31 de julio de 1950, citado en Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life: A History of the Genetic Code* (Stanford, Calif.: Stanford University Press, 2000), 119. <<

[10.8] Henry Linschitz, «The Information Content of a Bacterial Cell», en Henry Quastler (ed.), *Essays on the Use of Information Theory in Biology*, 252. <<

[10.9] Sidney Dancoff y Henry Quastler, «The Information Content and Error Rate of Living Things», en Henry Quastler (ed.), *Essays on the Use of Information Theory in Biology*, 264. <<

[10.10] *Ibíd.*, 270. <<

[10.11] Boris Ephrussi, Urs Leopold, J. D. Watson, y J. J. Weigle, «Terminology in Bacterial Genetics», *Nature* 171 (18 de abril de 1953): 701. <<

[10.12] Cf. Sahotra Sarkar, *Molecular Models of Life* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2005); Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life?*, 58; Harriett Ephrussi-Taylor a Joshua Lederberg, 3 de septiembre de 1953, y nota de Lederberg, 30 de abril de 2004, en «Lederberg papers», <http://profiles.nlm.nih.gov/BB/A/J/R/R/> (visitado el 22 de enero de 2009); y James D. Watson, *Genes, Girls, and Gamow: After the Double Helix* (Nueva York: Knopf, 2002), 12. <<

[10.13] Más tarde todo el mundo daría por hecho que esto había quedado demostrado en 1944 por Oswald Avery en la Rockefeller University. Sin embargo, en su momento muy pocos investigadores estaban convencidos de ello.

<<

[10.14] Gunther S. Stent, «DNA», *Daedalus* 99 (1970): 924. <<

[10.15] James D. Watson y Francis Crick, «A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid», *Nature* 171 (1953): 737. <<

[10.16] James D. Watson y Francis Crick, «Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid», *Nature* 171 (1953): 965. <<

[10.17] George Gamow a James D. Watson y Francis Crick, 8 de julio de 1953, citado en Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life?*, 131. Reimpr. con la autorización de R. Igor Gamow. <<

(10.ii) Al confeccionar una lista de veinte aminoácidos Gamow se adelantaba a lo que en realidad se conocía en aquellos momentos. Resultó que el número veinte era correcto, aunque la lista de Gamow no lo fuera. <<

[10.18] George Gamow a E. Chargaff, 6 de mayo de 1954, *Ibídem*, 141. <<

[10.19] Gunther S. Stent, «DNA», 924. <<

[10.20] Francis Crick, entrevista con Horace Freeland Judson, 20 de noviembre de 1975, en Horace Freeland Judson, *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology* (Nueva York: Simon & Schuster, 1979), 233. <<

[10.21] George Gamow, «Possible Relation Between Deoxyribonucleic Acid and Protein Structures», *Nature* 173 (1954): 318. <<

[10.22] Douglas R. Hofstadter, «The Genetic Code: Arbitrary?» (marzo de 1982), en *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern* (Nueva York: Basic Books, 1985), 671. <<

[10.23] George Gamow, «Information Transfer in the Living Cell», *Scientific American* 193, n° 10 (octubre de 1955): 70. <<

[10.24] Francis Crick, «General Nature of the Genetic Code for Proteins», *Nature* 192 (30 de diciembre de 1961): 1227. <<

[10.25] Solomon W. Golomb, Basil Gordon, y Lloyd R. Welch, «Comma-Free Codes», *Canadian Journal of Mathematics* 10 (1958): 202-209, citado en Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life?*, 171. <<

[10.26] Francis Crick, «On Protein Synthesis», *Symposium of the Society for Experimental Biology* 12 (1958): 152; Cf. Francis Crick, «Central Dogma of Molecular Biology», *Nature* 227 (1970): 561-563; y Hubert P. Yockey, *Information Theory, Evolution, and the Origin of Life* (Cambridge: Cambridge University Press, 2005), 20-21. <<

[10.27] Horace Freeland Judson, *The Eighth Day of Creation*, 219-221. <<

[10.28] Gunther S. Stent, «You Can Take the Ethics Out of Altruism But You Can't Take the Altruism Out of Ethics», *Hastings Center Report* 7, n° 6 (1977): 34; y Gunther S. Stent, «DNA», 925. <<

[10.29] Seymour Benzer, «The Elementary Units of Heredity», en W. D. McElroy y B. Glass (eds.), *The Chemical Basis of Heredity* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1957), 70. <<

[10.30] Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, edición XXX aniversario (Oxford: Oxford University Press, 2006), 237. <<

[10.31] *Ibíd.*, xxi. <<

[10.32] *Ibíd.*, 19. <<

[10.33] Stephen Jay Gould, «Caring Groups and Selfish Genes», en *The Panda's Thumb* (Nueva York: Norton, 1980), 86. <<

[10.34] Gunther S. Stent, «You Can Take the Ethics Out of Altruism But You Can't Take the Altruism Out of Ethics», 33. <<

[10.35] Samuel Butler, *Life and Habit* (Londres: Trübner & Co, 1878), 134. <<

[10.36] Daniel C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life* (Nueva York: Simon & Schuster, 1995), 346. <<

[10.37] Edward O. Wilson, «Biology and the Social Sciences», *Daedalus* 106, nº 4 (otoño de 1977), 131. <<

[10.38] Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, 265. <<

[10.39] *Ibíd.*, 36. <<

[10.40] *Ibíd.*, 25. <<

[10.41] Werner R. Loewenstein, *The Touchstone of Life: Molecular Information, Cell Communication, and the Foundations of Life* (Nueva York: Oxford University Press, 1999), 93-94. <<

[10.42] Richard Dawkins, *The Extended Phenotype*, ed. rev. (Oxford: Oxford University Press, 1999), 117. <<

[10.43] *Ibídem*, 196-197. <<

[10.44] Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, 37. <<

[10.45] Richard Dawkins, *The Extended Phenotype*, 21. <<

[10.46] *Ibíd.*, 23. <<

[10.47] Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, 60. <<

[10.48] *Ibíd.*, 34. <<

[10.49] Max Delbrück, «A Physicist Looks At Biology», *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 38 (1949): 194. <<

[11.1] Douglas R. Hofstadter, «On Viral Sentences and Self-Replicating Structures», en *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern* (Nueva York, Basic Books, 1985), 52. <<

[11.2] Jacques Monod, *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*, trad. ing. de Austryn Wainhouse (Nueva York: Knopf, 1971), 145. <<

[11.3] *Ibídem*, 165. <<

[11.4] Roger Sperry, «Mind, Brain, and Humanist Values», en *New Views of the Nature of Man*, edición de John R. Platt (Chicago: University of Chicago Press, 1983), 82. <<

[11.5] Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, edición XXX aniversario (Oxford: Oxford University Press, 2006), 192. <<

[11.6] Daniel C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life* (Nueva York: Simon & Schuster, 1995), 347. <<

[11.7] Daniel C. Dennett, *Consciousness Explained* (Boston: Little, Brown, 1991),
204. <<

[11.8] Mary Midgley, «Gene-Juggling», *Philosophy* 54 (octubre de 1979). <<

[11.9] Daniel C. Dennett, «Memes: Myths, Misunderstandings, and Misgivings», borrador para la conferencia de Chapel Hill, octubre de 1998, <http://ase.tufts.edu/cogstud/papers/MEMEMYTH.FIN.htm> (visitado el 7 de junio de 2010). <<

[11.10] George Jean Nathan y H. L. Mencken, «Clinical Notes», *American Mercury* 3, nº 9 (septiembre de 1924), 55. <<

[11.11] Edmund Spenser, citado por Thomas Fuller, *The History of the Worthies of England* (Londres: 1662). <<

[11.12] Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, 322. <<

[11.13] Citado por Dawkins, *Ibíd.*, 192. <<

[11.14] W. D. Hamilton, «The Play by Nature», *Science* 196 (13 de mayo de 1977): 759. <<

[11.15] Juan D. Delius, «Of Mind Memes and Brain Bugs, A Natural History of Culture», en *The Nature of Culture*, edición de Walter A. Koch (Bochum, Alemania: Bochum, 1989), 40. <<

[11.16] James Thomson, «Autumn» (1730). <<

[11.17] John Milton, *Paradise Lost*, IX:1036. <<

[11.18] Douglas R. Hofstadter, «On Viral Sentences and Self-Replicating Structures», 52. <<

[11.19] Daniel C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea*, 346. <<

[11.20] Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, 197. <<

[11.21] *Ibíd.*, 329. <<

[11.22] Daniel W. VanArsdale, «Chain Letter Evolution», <http://www.silcom.com/~barnowl/chain-letter/evolution.html> (visitado el 8 de junio de 2010). <<

[11.23] Harry Middleton Hyatt, *Folk-Lore from Adams County, Illinois*, 2^a ed. rev. (Hannibal, Mo.: Alma Egan Hyatt Foundation, 1965), 581. <<

[11.24] Charles H. Bennett, Ming Li, y Bin Ma, «Chain Letters and Evolutionary Histories», *Scientific American* 288, n° 6 (junio de 2003): 77. <<

[11.25] Daniel C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea*, 344. <<

[11.26] Richard Dawkins, prólogo a Susan Blackmore, *The Meme Machine* (Oxford: Oxford University Press, 1999), xii. <<

[11.27] David Mitchell, *Ghostwritten* (Nueva York: Random House, 1999), 378.

<<

[11.28] Margaret Atwood, *The Year of the Flood* (Nueva York: Doubleday, 2009),
170. <<

[11.29] John Updike, «The Author Observes His Birthday, 2005», *Endpoint and Other Poems* (Nueva York: Knopf, 2009), 8. <<

[11.30] Fred I. Dretske, *Knowledge and the Flow of Information* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1981), xii. <<

[12.1] Michael Cunningham, *Specimen Days* (Nueva York: Farrar Straus Giroux, 2005), 154. <<

[12.2] Entrevistas, Gregory J. Chaitin, 27 de octubre de 2007 y 14 de septiembre de 2009; Gregory J. Chaitin, «The Limits of Reason», *Scientific American* 294, nº 3 (marzo de 2006): 74. <<

[12.3] Ernest Nagel y James R. Newman, *Gödel's Proof* (Nueva York: New York University Press, 1958), 6. <<

[12.4] Citado en Gregory J. Chaitin, *Information, Randomness & Incompleteness: Papers on Algorithmic Information Theory* (Singapur: World Scientific, 1987), 61. <<

[12.5] «Algorithmic Information Theory», en Gregory J. Chaitin, *Conversations with a Mathematician* (Londres: Springer, 2002), 80. <<

[12.6] John Archibald Wheeler, *At Home in the Universe, Masters of Modern Physics*, vol. 9 (Nueva York: American Institute of Physics, 1994), 304. <<

[12.7] Cf. John Maynard Keynes, *A Treatise on Probability* (Londres: Macmillan, 1921), 291. <<

[12.8] *Ibídem*, 281. <<

[12.9] Henri Poincaré, «Chance», en *Science and Method*, trad. ing. de Francis Maitland (Mineola, N.Y.: Dover, 2003), 65. <<

[12.10] *A Million Random Digits with 100,000 Normal Deviates* (Glencoe, Ill.: Free Press, 1955). <<

[12.11] *Ibíd.*, ix-x. <<

[12.12] Von Neumann citado en Peter Galison, *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics* (Chicago: University of Chicago Press, 1997), 703. <<

[12.13] «A Universal Turing Machine with Two Internal States», en Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, edición de N. J. A. Sloane y Aaron D. Wyner (Nueva York: IEEE Press, 1993), 733-741. <<

[12.14] Gregory J. Chaitin, «On the Length of Programs for Computing Finite Binary Sequences», *Journal of the Association for Computing Machinery* 13 (1966): 567. <<

[12.15] Isaac Newton, «Rules of Reasoning in Philosophy; Rule I», *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. <<

[12.16] Obituario, *Bulletin of the London Mathematical Society* 22 (1990): 31; A. N. Shiryaev, «Kolmogorov: Life and Creative Activities», *Annals of Probability* 17, n° 3 (1989): 867. <<

[12.17] David A. Mindell *et alii*, «Cybernetics and Information Theory in the United States, France, and the Soviet Union», en *Science and Ideology: A Comparative History*, edición de Mark Walker (Londres: Routledge, 2003), 66 y 81. <<

[12.18] Cf. «Amount of Information and Entropy for Continuous Distributions», nota 1, en *Selected Works of A. N. Kolmogorov, vol. 3, Information Theory and the Theory of Algorithms*, trad. ing. de A. B. Sossinsky (Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 1993), 33. <<

[12.19] A. N. Kolmogorov y A. N. Shiryaev, *Kolmogorov in Perspective*, trad. ing. de Harold H. McFaden, *History of Mathematics*, vol. 20 (s. l.: American Mathematical Society, London Mathematical Society, 2000), 54. <<

[12.20] Citado en Slava Gerovitch, *From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2002), 58. <<

[12.21] «Intervention at the Session», en *Selected Works of A. N. Kolmogorov*, 31.

<<

[12.22] Diario de Kolmogorov, anotación del 14 de septiembre de 1943, en A. N. Kolmogorov y A. N. Shiryaev, *Kolmogorov in Perspective*, 50. <<

[12.23] «Three Approaches to the Definition of the Concept ‘Quantity of Information’» en *Selected Works of A. N. Kolmogorov*, 188. <<

(12.24) «Nuestra definición de la cantidad de información tiene la ventaja de que se refiere a objetos individuales y no a objetos tratados como miembros de un conjunto de objetos con una distribución de probabilidad. La definición probabilista puede ser aplicada de manera convincente a la información contenida, por ejemplo, en un aluvión de telegramas de felicitación. Pero no está claro cómo podría aplicarse, por ejemplo, a un cálculo de la cantidad de información contenida en una novela o en la traducción de una novela a otra lengua emparentada con la original».

A. N. Kolmogorov, «Combinatorial Foundations of Information Theory and the Calculus of Probabilities», *Russian Mathematical Surveys* 38, nº 4 (1983): 29-43. <<

[12.25] «Three Approaches to the Definition of the Concept ‘Quantity of Information’» *Selected Works of A. N. Kolmogorov*, 221. <<

[12.26] «On the Logical Foundations of Information Theory and Probability Theory», *Problems of Information Transmission* 5, n° 3 (1969): 1-4. <<

[12.27] V. I. Arnold, «On A. N. Kolmogorov», en A. N. Kolmogorov y A. N. Shiryaev, *Kolmogorov in Perspective*, 94. <<

$$(12.i) \quad 1.729 = 1^3 + 12^3 = 9^3 + 10^3 \ll$$

[12.28] Gregory J. Chaitin, *Thinking About Gödel and Turing: Essays on Complexity, 1970-2007* (Singapur: World Scientific, 2007), 176. <<

(12.ii) Más exactamente, presentaba el siguiente aspecto: «La secuencia binaria finita S con la primera prueba de que S no puede ser descrita por una máquina de Turing con n estados o menos» es una descripción de $(\log_2, n + c_F)$ estados de S

<<

[12.29] Gregory J. Chaitin, «The Berry Paradox», *Complexity* 1, n° 1 (1995): 26;
«Paradoxes of Randomness», *Complexity* 7, n° 5 (2002): 14-21. <<

[12.30] Entrevista, Gregory J. Chaitin, 14 de septiembre de 2009. <<

[12.31] Prólogo a Cristian S. Calude, *Information and Randomness: An Algorithmic Perspective* (Berlín: Springer, 2002), viii. <<

[12.32] Joseph Ford, «Directions in Classical Chaos», en *Directions in Chaos*, edición de Hao Bai-lin (Singapur: World Scientific, 1987), 14. <<

[12.33] Ray J. Solomonoff, «The Discovery of Algorithmic Probability», *Journal of Computer and System Sciences* 55, n° 1 (1997): 73-88. <<

[12.34] Noam Chomsky, «Three Models for the Description of Language», *IRE Transactions on Information Theory* 2, n° 3 (1956): 113-124. <<

[12.35] Ray J. Solomonoff, «A Formal Theory of Inductive Inference»,
Information and Control 7, n° 1 (1964): 1-22. <<

[12.36] Prólogo a Cristian S. Calude, *Information and Randomness*, vii. <<

[12.37] Gregory J. Chaitin, «Randomness and Mathematical Proof», en *Information, Randomness & Incompleteness*, 4. <<

[12.38] Charles H. Bennett, «Logical Depth and Physical Complexity», en *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey*, edición de Rolf Herken (Oxford: Oxford University Press, 1988), 209-210. <<

[13.1] Seth Lloyd, *Programming the Universe* (Nueva York: Knopf, 2006), 44. <<

[13.2] Christopher A. Fuchs, «Quantum Mechanics as Quantum Information (and Only a Little More)», *arXiv:quant-ph/0205039v1*, 8 de mayo de 2002, 1. <<

[13.3] *Ibídem*, 4. <<

[13.4] John Archibald Wheeler junto con Kenneth Ford, *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics* (Nueva York: Norton, 1998), 298. <<

[13.5] «It from Bit» en John Archibald Wheeler, *At Home in the Universe, Masters of Modern Physics*, vol. 9 (Nueva York: American Institute of Physics, 1994), 296. <<

[13.6] Stephen Hawking, «Black Hole Explosions?», *Nature* 248 (1 de marzo de 1974), DOI:10.1038/248030a0, 30-31. <<

[13.7] Stephen Hawking, «The Breakdown of Predictability in Gravitational Collapse», *Physical Review D* 14 (1976): 2460-2473; Gordon Belot *et alii*, «The Hawking Information Loss Paradox: The Anatomy of a Controversy», *British Journal for the Philosophy of Science* 50 (1999): 189-229. <<

[13.8] John Preskill, «Black Holes and Information: A Crisis in Quantum Physics», Caltech Theory Seminar, 21 de octubre de 1994, <http://www.theory.caltech.edu/~preskill/talks/blackholes.pdf> (visitado el 20 de marzo de 2010). <<

[13.9] John Preskill, «Black Holes and the Information Paradox», *Scientific American* (abril de 1997): 54. <<

[13.10] Citado en Tom Siegfried, *The Bit and the Pendulum: From Quantum Computing to M Theory-The New Physics of Information* (Nueva York: Wiley and Sons, 2000), 203. <<

(13.i) «Era o bien R^4 o bien un agujero negro. Pero la suma sobre historias de Feynman permite que sean ambos a la vez». <<

[13.11] Stephen Hawking, «Information Loss in Black Holes», *Physical Review D* 72 (2005): 4. <<

[13.12] Charles H. Bennett, «Notes on the History of Reversible Computation», *IBM Journal of Research and Development* 44 (2000): 270. <<

[13.13] Charles H. Bennett, «The Thermodynamics of Computation - A Review»,
International Journal of Theoretical Physics 21, n° 12 (1982): 906. <<

[13.14] *Ibíd.* <<

(13.ii) La fórmula de Von Neumann para el coste energético teórico de cada operación lógica era $kT \ln 2$ julios por bit, donde T es la temperatura de funcionamiento del computador, y k es la constante de Boltzman. Szilárd había demostrado que en su motor el demonio puede obtener un rendimiento de $kT \ln 2$ de cada molécula que selecciona, de modo que en algún momento del ciclo hay que afrontar un gasto energético. <<

[13.15] «Information Is Physical», *Physics Today* 23 (mayo de 1991); «Information Is Inevitably Physical», en Anthony H. G. Hey (ed.), *Feynman and Computation* (Boulder, Colo.: Westview Press, 2002), 77. <<

[13.16] Charles Bennett, citado por George Johnson en «Rolf Landauer, Pioneer in Computer Theory, Dies at 72», *The New York Times*, 30 de abril de 1999. <<

[13.17] Entrevista, Charles Bennett, 27 de octubre de 2009. <<

[13.18] J. A. Smolin, «The Early Days of Experimental Quantum Cryptography»,
IBM Journal of Research and Development 48 (2004): 47-52. <<

[13.19] Barbara M. Terhal, «Is Entanglement Monogamous?» *IBM Journal of Research and Development* 48, n° 1 (2004): 71-78. <<

[13.20] Encontramos una explicación detallada en Simon Singh, *The Code Book: The Secret History of Codes and Codebreaking* (Londres: Fourth Estate, 1999); es un total de diez páginas exquisitamente redactadas, empieza en la p. 339. <<

[13.21] Anuncio de IBM, *Scientific American* (febrero de 1996), 0-1; Anthony H. G. Hey (ed.), *Feynman and Computation*, xiii; Tom Siegfried, *The Bit and the Pendulum*, 13. <<

(13.22) Este término no está universalmente aceptado, aunque el Diccionario Oxford de la Lengua Inglesa lo admitiera en diciembre de 2007. David Mermin escribió ese mismo año: «Por desgracia, la ridícula manera de escribir la palabra *qubit* ha arraigado entre nosotros [...] Aunque “qubit” se atiene a una norma en lengua inglesa (alemana, italiana, etcétera...), según la cual después de *q* debe escribirse *u*, ignora el requisito igualmente importante de que la secuencia *qu* debe ir seguida de una vocal. Supongo que la forma “qubit” ha ganado aceptación porque visualmente se asemeja a *cubit* [“codo”], la palabra que indica una unidad de distancia ya obsoleta en lengua inglesa. Para ver lo torpe que resulta [dicho término], basta imaginar [...] que uno se limpiaba los oídos con *Qutips* [término que suele emplearse en lengua inglesa para designar los bastoncillos de algodón (*N. de los t.*)]».

N. David Mermin, *Quantum Computer Science: An Introduction* (Cambridge: Cambridge University Press, 2007), 4. <<

[13.23] *Physical Review* 47 (1935): 777-780. <<

[13.24] Wolfgang Pauli a Werner Heisenberg, 15 de junio de 1935, citado en Louisa Gilder, *The Age of Entanglement: When Quantum Physics Was Reborn* (Nueva York: Knopf, 2008), 162. <<

[13.25] Albert Einstein a Max Born, marzo de 1948, en *The Born-Einstein Letters*, trad. ing. de Irene Born (Nueva York: Walker, 1971), 164. <<

[13.26] Asher Peres, «Einstein, Podolsky, Rosen, and Shannon»,
arXiv:quantph/0310010 v1, 2003. <<

[13.27] Christopher A. Fuchs, «Quantum Mechanics as Quantum Information (and Only a Little More»): *arXiv: quant-ph/1003.5209 v1*, 26 de marzo de 2010: 3. <<

[13.28] Charles H. Bennett *et alii*, «Teleporting an Unknown Quantum State Via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels», *Physical Review Letters* 70 (1993): 1895. <<

[13.29] Richard Feynman, «Simulating Physics with Computers», en Anthony H. G. Hey (ed.), *Feynman and Computation*, 136. <<

[13.30] Entrevista, Charles H. Bennett, 27 de octubre de 2009. <<

[13.31] N. David Mermin, *Quantum Computer Science*, 17. <<

[13.32] Debe su nombre a sus inventores: Ron Rivest, Adi Shamir y Len Adleman.

<<

[13.33] T. Kleinjung, K. Aoki, J. Franke, *et alii*, «Factorization of a 768-bit RSA modulus», Eprint archive n° 2010/006, 2010. <<

[13.34] Dorit Aharonov, mesa redonda sobre el tema «Harnessing Quantum Physics», 18 de octubre de 2009, Perimeter Institute, Waterloo, Ontario; y mensaje de correo electrónico de fecha 10 de febrero de 2010. <<

[13.35] Charles H. Bennett, «Publicity, Privacy, and Permanence of Information», en *Quantum Computing: Back Action*, AIP Conference Proceeding 864 (2006), editado por Debabrata Goswami (Melville, N.Y.: American Institute of Physics), 175-179. <<

[13.36] Charles H. Bennett, entrevista, 27 de octubre de 2009. <<

[13.37] Shannon, entrevista con Anthony Liversidge, *Omni* (agosto de 1987), en Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, editado por N. J. A. Sloane y Aaron D. Wyner (Nueva York: IEEE Press, 1993), xxxii. <<

[13.38] John Archibald Wheeler, «Information, Physics, Quantum: The Search for Links», *Proceedings of the Third International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics* (1989), 368. <<

[14.1] Hilary Mantel, *Wolf Hall* (Nueva York: Henry Holt, 2009), 394. <<

[14.2] Jorge Luis Borges, «The Library of Babel», en *Labyrinths: Selected Stories and Other Writings* (Nueva York: New Directions, 1962), 54. <<

[14.3] Jorge Luis Borges, «Tlön, Uqbar, Orbis Tertius», en *Labyrinths*, 8. <<

[14.4] William Gibson, «An Invitation», introducción a *Labyrinths*, xii. <<

[14.5] Charles Babbage, *The Ninth Bridgewater Treatise: A Fragment*, 2^a ed. (Londres: John Murray, 1838), 111. <<

[14.6] Edgar Allan Poe, «The Power of Words» (1845), en *Poetry and Tales* (Nueva York: Library of America, 1984), 823-824. <<

[14.7] Pierre-Simon Laplace, *A Philosophical Essay on Probabilities*, trad. ing. de Frederick Wilson Truscott y Frederick Lincoln Emory (Nueva York: Dover, 1951). <<

[14.8] Charles Babbage, *The Ninth Bridgewater Treatise*, 44. <<

[14.9] Nathaniel Parker Willis, «The Pencil of Nature: A New Discovery», *The Corsair* 1, n° 5 (abril de 1839): 72. <<

[14.10] *Ibídem*, 71. <<

[14.11] Alan M. Turing, «Computing Machinery and Intelligence», *Minds and Machines* 59, n° 236 (1950): 440. <<

[14.12] H. G. Wells, *A Short History of the World* (San Diego: Book Tree, 2000),
97. <<

[14.13] Isaac Disraeli, *Curiosities of Literature* (Londres: Routledge & Sons, 1893), 17. <<

[14.14] Tom Stoppard, *Arcadia* (Londres: Samuel French, 1993), 38. <<

[14.15] «Wikipedia: Requested Articles», http://web.archive.org/web/20010406104800/www.wikipedia.com/wiki/Requested_articles (visitado el 4 de abril de 2001). <<

[14.16] Citado por Nicholson Baker en «The Charms of Wikipedia», *New York Review of Books* 55, nº 4 (20 de marzo de 2008). Este mismo usuario anónimo cometió otro acto de vandalismo más tarde, destrozando los artículos sobre angioplastia y Sigmund Freud. <<

[14.17] Lewis Carroll, *Sylvie and Bruno Concluded* (Londres: Macmillan, 1893),
169. <<

[14.18] Entrevista, Jimmy Wales, 24 de julio de 2008. <<

[14.19] http://meta.wikimedia.org/wiki/Die_Schraube_an_der_hinteren_linken_Bremsbacke_am_Fahrrad_von_Ulrich_Fuchs (visitado el 25 julio de 2008). <<

[14.20] *Encyclopaedia Britannica*, 3ª edición, frontispicio; cf. Richard Yeo, *Encyclopædic Visions: Scientific Dictionaries and Enlightenment Culture* (Cambridge: Cambridge University Press, 2001), 181. <<

[14.21] «Wikipedia: What Wikipedia Is Not», http://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:What_Wikipedia_is_not (visitado el 3 de agosto de 2008). <<

[14.22] Charles Dickens, *The Pickwick Papers*, capítulo 51. <<

[14.23] Nicholson Baker, «The Charms of Wikipedia». <<

[14.24] John Banville, *The Infinities* (Londres: Picador, 2009), 178. <<

[14.25] Deming Seymour, «A New Yorker at Large», *Sarasota Herald*, 25 de agosto de 1929. <<

[14.26] «Regbureau», *The New Yorker* (26 de mayo de 1934), 16. <<

[14.27] Brian W. Ogilvie, *The Science of Describing: Natural History in Renaissance Europe* (Chicago: University of Chicago Press, 2006). <<

[14.28] *Ibíd.*, 173. <<

[14.29] Caspar Bauhin; *Ibídem*, 208. <<

[14.30] Ernst Pulgram, *Theory of Names* (Berkeley, Calif.: American Name Society, 1954), 3. <<

[14.31] Michael Amrine, «‘Megabucks’ for What’s ‘Hot’» *The New York Times Magazine*, 22 de abril de 1951. <<

[14.32] Jaron Lanier, *You Are Not a Gadget* (Nueva York: Knopf, 2010), 8. <<

[14.33] Cf. Tom Vanderbilt, «Data Center Overload», *The New York Times Magazine*, 14 de junio de 2009. <<

[14.34] Seth Lloyd, «Computational Capacity of the Universe», *Physical Review Letters* 88, n° 23 (2002). <<

[15.1] <http://www.andrewtobias.com/bkoldcolumns/070118.html> (visitado el 18 de enero de 2007). <<

[15.2] Carl Bridenbaugh, «The Great Mutation», *American Historical Review* 68, n° 2 (1963): 315-331. <<

[15.3] *Ibíd.*, 322. <<

[15.4] «Historical News», *American Historical Review* 63, n° 3 (abril de 1963):
880. <<

[15.5] Elisabeth L. Eisenstein, *The Printing Press as an Agent of Change: Communications and Cultural Transformations in Early-Modern Europe* (Cambridge: Cambridge University Press, 1979), 25. <<

[15.6] *Ibídem*, xvi. <<

[15.7] Elizabeth L. Eisenstein, «Clio and Chronos: An Essay on the Making and Breaking of History-Book Time», *History and Theory* 6, suplement. 6: History and the Concept of Time (1966), 64. <<

[15.8] *Ibídem*, 42. <<

[15.9] *Ibídem*, 61. <<

[15.10] Elizabeth L. Eisenstein, *The Printing Press as an Agent of Change*, 624 ss.

<<

[15.11] Carl Bridenbaugh, «The Great Mutation», 326. <<

[15.12] Elizabeth L. Eisenstein, «Clio and Chronos», 39. <<

[15.13] Robert Burton, *The Anatomy of Melancholy*, edición de Floyd Dell y Paul Jordan-Smith (Nueva York: Tudor, 1927), 14. <<

[15.14] Gottfried Wilhelm Leibniz, *Leibniz Selections*, edición de Philip P. Wiener (Nueva York: Scribner's, 1951), 29; cf. Marshall McLuhan, *The Gutenberg Galaxy* (Toronto: University of Toronto Press, 1962), 254. <<

[15.15] Alexander Pope, *The Dunciad*, 1729 (Londres: Methuen, 1943), 41. <<

[15.16] T. S. Eliot, «The Rock», en *Collected Poems: 1909-1962* (Nueva York: Harcourt Brace, 1963), 147. <<

[15.17] David Foster Wallace, introducción a *The Best American Essays 2007* (Nueva York: Mariner, 2007). <<

[15.18] Lewis Mumford, *The Myth of the Machine*, vol. 2, *The Pentagon of Power* (Nueva York: Harcourt, Brace, 1970), 182. <<

[15.19] Jacob Palme, «You Have 134 Unread Mail! Do You Want to Read Them Now?» en *Computer-Based Message Services*, edición de Hugh T. Smith (North Holland: Elsevier, 1984), 175-176. <<

[15.20] C. J. Bartlett y Calvin G. Green, «Clinical Prediction: Does One Sometimes Know Too Much», *Journal of Counseling Psychology* 13, nº 3 (1966): 267-270. <<

[15.21] Siegfried Streufert *et alii*, «Conceptual Structure, Information Search, and Information Utilization», *Journal of Personality and Social Psychology* 2, n° 5 (1965): 736-740. <<

[15.22] Por ejemplo, Naresh K. Malhotra, «Information Load and Consumer Decision Making», *Journal of Consumer Research* 8 (marzo de 1982): 419. <<

[15.23] Tonyia J. Tidline, «The Mythology of Information Overload», *Library Trends* 47, n° 3 (invierno de 1999): 502. <<

[15.24] Charles H. Bennett, «Demons, Engines, and the Second Law», *Scientific American* 257, n° 5 (1987): 116. <<

[15.25] Carta de G. Bernard Shaw al editor, *Whitaker's Almanack*, 31 de mayo de 1943. <<

[15.26] *The New York Times*, 8 de octubre de 1929, 1. <<

[15.27] Anthony Lane, «Byte Verse», *The New Yorker*, 20 de febrero de 1995, 108. <<

[15.28] Daniel C. Dennett, «Memes and the Exploitation of Imagination», *Journal of Aesthetics and Art Criticism* 48 (1990): 132. <<

[15.29] Augustus De Morgan, *Arithmetical Books: From the Invention of Printing to the Present Time* (Londres: Taylor & Walton, 1847), ix. <<

[15.30] Vincent de Beauvais, Prólogo, *Speculum Maius*, citado en Ann Blair, «Reading Strategies for Coping with Information Overload ca. 1550-1700», *Journal of the History of Ideas* 64, nº 1 (2003): 12. <<

[15.31] *Ibíd.* <<

[15.32] Brian W. Ogilvie, «The Many Books of Nature: Renaissance Naturalists and Information Overload», *Journal of the History of Ideas* 64, n° 1 (2003): 40.

<<

[15.33] Bertolt Brecht, *Radio Theory* (1927), citado en Kathleen Woodward, *The Myths of Information: Technology and Postindustrial Culture* (Madison, Wisc.: Coda Press, 1980). <<

[E.1] Jean-Pierre Dupuy, *The Mechanization of the Mind: On the Origins of Cognitive Science*, trad. ing. de M. B. DeBevoise (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2000), 119. <<

[E.2] Marshall McLuhan, *The Gutenberg Galaxy* (Toronto: University of Toronto Press, 1962), 1. <<

[E.3] Marshall McLuhan, *Understanding Media: The Extensions of Man* (Nueva York: McGraw-Hill, 1965), 3. <<

[E.4] Walt Whitman, «Years of the Modern», *Leaves of Grass* (Garden City, N.Y.: Doubleday, 1919), 272. <<

[E.5] Por ejemplo, «Tanto da que sean dos, como dos millones: independientemente de su número, todas las criaturas colocadas “en comunicación” poseen una misma mente». Parley Parker Pratt, *Key to the Science of Theology* (1855), citado en John Durham Peters, *Speaking Into the Air: A History of the Idea of Communication* (Chicago: University of Chicago Press, 1999), 275. <<

[E.6] «... esto equivale a imaginar que por encima de la biosfera animal, y como continuación de ella, hay una esfera humana, la esfera de la reflexión, de la conciencia y de la creación libre; en términos estrictos, una esfera del pensamiento; en resumen, la esfera de la mente o noosfera». Édouard Le Roy, *Les Origines humaines et l'évolution de l'intelligence* (París: Boivin et Cie, 1928), citado y traducido al inglés por M. J. Aronson, *Journal of Philosophy* 27, nº 18 (28 de agosto de 1930): 499. <<

[E.7] Pierre Teilhard de Chardin, *The Human Phenomenon*, trad. ing. de Sarah Appleton-Weber (Brighton, U.K.: Sussex Academic Press, 1999), 174. <<

[E.8] *Mind* 70, nº 277 (1961): 99. A Medawar tampoco le gustaba mucho la prosa de Teilhard: «esa prosa poética ligera y eufórica, que constituye una de las manifestaciones más agobiantes del espíritu francés». <<

[E.9] Probablemente el primero, y el más famoso, fuera Olaf Stapledon, *Last and First Men* (Londres: Methuen, 1930). <<

[E.10] H. G. Wells, *World Brain* (Londres: Methuen, 1938), xiv. <<

[E.11] *Ibídem*, 56. <<

[E.12] *Ibídem*, 63. <<

[E.13] H. G. Wells, *The Passionate Friends* (Londres: Harper, 1913), 332; H. G. Wells, *The War in the Air* (Nueva York: Macmillan, 1922), 14. <<

[E.14] Citado en Flo Conway y Jim Siegelman, *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics* (Nueva York: Basic Books, 2005), 189. <<

[E.15] Jorge Luis Borges, «The Library of Babel», *Labyrinths: Selected Stories and Other Writings* (Nueva York: New Directions, 1962), 54. <<

[E.16] Fred I. Dretske, *Knowledge and the Flow of Information* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1981), vii. <<

[E.17] Jean-Pierre Dupuy, «Myths of the Informational Society», en Kathleen Woodward, *The Myths of Information: Technology and Postindustrial Culture* (Madison, Wisc.: Coda Press, 1980), 3. <<

[E.18] Dexter Palmer, *The Dream of Perpetual Motion* (Nueva York: St. Martin's Press, 2010), 220. <<

[E.19] Gottfried Wilhelm Leibniz, *De scientia universali seu calculo philosophico*, 1875; cf. Umberto Eco, *The Search for the Perfect Language*, trad. ing. de James Fentress (Malden, Mass.: Blackwell, 1995), 281. <<

[E.20] Margaret Atwood, «Atwood in the Twittersphere», *The New York Review of Books* blog, <http://www.nybooks.com/blogs/nyrblog/2010/mar/29/atwood-in-the-twittersphere/>, 29 de marzo de 2010. <<

[E.21] Charles Mackay, *Memoirs of Extraordinary Popular Delusions* (Philadelphia: Lindsay & Blakiston, 1850), 14. <<

[E.22] Nicholson Baker, «Discards» (1994), en *The Size of Thoughts: Essays and Other Lumber* (Nueva York: Random House, 1996), 168. <<

[E.23] Entrevista, Allan Jennings, febrero de 1996; James Gleick, «Here Comes the Spider», en *What Just Happened: A Chronicle from the Information Frontier* (Nueva York: Pantheon, 2002), 128-132. <<

[E.24] John Guare, *Six Degrees of Separation* (Nueva York: Dramatists Play Service, 1990), 45. <<

[E.25] Albert-László Barabási, *Linked* (Nueva York: Plume, 2003), 26 ss. <<

[E.26] Duncan J. Watts y Steven H. Strogatz, «Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks», *Nature* 393 (1998): 440-442; también Duncan J. Watts, *Six Degrees: The Science of a Connected Age* (Nueva York: Norton, 2003); Albert-László Barabási, *Linked*. <<

[E.27] Duncan J. Watts y Steven H. Strogatz, «Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks», 442. <<

[E.28] Stanislaw Lem, *The Cyberiad*, trad. ing. de Michael Kandel (Londres: Secker & Warburg, 1975), 155. <<

[E.29] Jorge Luis Borges, «The Library of Babel», *Labyrinths*, 54. <<

[E.30] John Donne, «From a Sermon Preached before King Charles I» (abril de 1627). <<