

# Turing y el ordenador

LOS CIENTÍFICOS Y SUS DESCUBRIMIENTOS

Paul Strathern



El ordenador ha revolucionado la era moderna de las comunicaciones y la información, y su desarrollo, al que contribuyó de forma fundamental Alan Turing, supone uno de los mayores logros del siglo XX. Sin embargo, ¿cuántos de nosotros sabemos cómo funciona realmente, y qué sabemos de Turing, el hombre que contribuyó a descifrar los códigos del *Enigma* durante la segunda guerra mundial, pero que fue olvidado por todos tras su muerte? *Turing y el ordenador* es un retrato brillante de la vida y obra de Turing, y ofrece una explicación clara y comprensible de la importancia y el significado del ordenador y la forma en que ha cambiado y moldeado nuestras vidas en este siglo.



Paul Strathern

# **Turing y el ordenador**

**Los científicos y sus descubrimientos - 00**

ePub r1.2  
smonarde 01.10.14

Título original: *Turing and the Computer*  
Paul Strathern, 1997  
Traducción: Flavia Bello  
Diseño de portada: Juan José Barco y Sonia Alins

Editor digital: smonarde  
ePub base r1.1

---

más libros en **ePubGratis**

---

# Introducción

El descubrimiento del ordenador podría ser uno de los grandes logros tecnológicos de la humanidad. Podríamos considerar incluso que el ordenador está a la altura del uso del fuego, el descubrimiento de la rueda y el dominio de la electricidad. Estos avances sirvieron para domoñar las fuerzas primarias: el ordenador domestica la propia inteligencia.

Más del 90% de los científicos que han existido están vivos actualmente, y los ordenadores multiplican la rapidez de su trabajo a diario. (La secuenciación del genoma humano se concluirá probablemente *medio siglo* antes de lo que se predijo al descubrir su estructura, y todo gracias a los ordenadores).

Pero no habría que dejar volar nuestras esperanzas demasiado alto. Se esperaba algo similar del desarrollo del motor de vapor, hace menos de 150 años. Y la regla de cálculo duró menos de un siglo. El avance que podría hacer que el ordenador se convirtiera en un objeto inútil nos resulta inconcebible solo porque todavía no se ha concebido.

Incluso antes de que el primer ordenador se hubiera inventado, conocíamos sus límites teóricos. Sabíamos *qué* podría calcular. E incluso, durante el montaje de los primeros ordenadores, se entendía la *cualidad* potencial de su capacidad: podrían desarrollar su propia inteligencia artificial. El nombre del responsable de ambas ideas es Alan Turing.

Hombre muy peculiar, que llegó a verse a sí mismo como algo parecido a un ordenador, Alan Turing trabajó también en la calculadora *Colossus*, que descifró los códigos del Enigma alemán durante la segunda guerra mundial. Al igual que Arquímedes, Turing tuvo que dejar de lado una brillante carrera

para intentar salvar a su país. Arquímedes fracasó, y fue asesinado a golpe de espada por un soldado romano. Turing lo logró, y su agradecido país lo llevó a juicio por su homosexualidad.

Tras su prematura muerte, Turing fue condenado al olvido, pero actualmente cada vez más personas creen que tal vez fuera la figura más importante en la historia de la informática.

## **La era a. C.: los computadores antes de su tiempo**

El primer ordenador fue, por supuesto, el ábaco. Este método de cálculo fue inventado incluso antes que la rueda (evidentemente, nuestro deseo de no ser engañados es más profundo que el de viajar con comodidad). Algunos restos arqueológicos demuestran que, en torno al 400 a. C., ya se utilizaba en China y Oriente Próximo una forma de ábaco, que parece haber evolucionado de forma independiente en las dos regiones. Algunos sugieren que esto muestra la primacía de las matemáticas: la necesidad de calcular como una función aparentemente inevitable de la condición humana.

Ábaco deriva de la palabra babilónica «abaq», que significaba «polvo». Los estudiosos han dado explicaciones particularmente ingeniosas de esta manifiesta incongruencia. Según una de las versiones, todos los cálculos se realizaban originalmente sobre el polvo, por lo que «polvo» acabó definiendo toda forma de cálculo. Otra opción es que el método de cálculo utilizado por el ábaco se dibujara en un principio con líneas y rayas en el polvo.

En realidad, el ábaco no es en absoluto, estrictamente hablando, un ordenador. El cálculo real lo hace la persona que utiliza el ábaco, que debe tener en su cabeza el programa (los pasos matemáticos necesarios).

Sea un ordenador o no, lo cierto es que el ábaco y su programa humano se utilizaron en toda Europa y Asia para realizar cálculos hasta bien avanzada la Edad Media. Después se introdujo el cero en las matemáticas, lo que supuso un obstáculo para los trabajos en los que se utilizaba el ábaco. Como consecuencia de esto, los matemáticos serios desecharon rápidamente esta

aportación infantil. Sin embargo, durante varios siglos el ábaco siguió utilizándose como calculadora, caja registradora, ordenador y para fines similares (y no tan similares). Es más: hasta hoy el ábaco sigue desempeñando un papel fundamental en las economías locales de algunas zonas de Asia central y Rusia.

La primera calculadora conocida sigue siendo un auténtico misterio. En 1900, submarinistas cazadores de esponjas en Grecia descubrieron cerca de la diminuta isla de Antikythera restos de un antiguo naufragio del primer siglo antes de Cristo. Entre las estatuas y vasijas rotas se encontraron algunas piezas de bronce corroído, que parecían ser parte de una máquina. Cincuenta años tardaron los estudiosos en descubrir cómo encajaban estas piezas y lograr que el aparato funcionara. El resultado fue una especie de calculadora astronómica, que funcionaba igual que un ordenador analógico moderno, con piezas mecánicas para hacer los cálculos. Al girar una manivela se accionaban unas palancas; estas, a su vez, accionaban unos cuadrantes con los que se podía leer la posición del Sol y los planetas del zodiaco.

Lo que hace a este descubrimiento tan asombroso es su singularidad. Nunca se ha encontrado nada de ese periodo ni remotamente semejante a esto. En la literatura griega clásica no se menciona una máquina como esta, ni similar. Ningún filósofo, poeta, matemático, científico o astrónomo hace referencia a un objeto así. Además, según los conocimientos actuales sobre la ciencia de la antigua Grecia, no había tradición ni conocimiento capaz de producir tal máquina. Aparentemente, el primer ordenador fue una construcción estrafalaria, tal vez un juguete, de algún desconocido genio mecánico, que simplemente desapareció de la historia. Al tratarse de un objeto estrafalario sin influencias, desapareció como un cometa. Después, durante más de mil quinientos años, nada.

En general, se considera la primera calculadora «real» la que fabricó en 1623 William Schickard, catedrático de hebreo en la Universidad de Tübingen. Schickard era amigo del astrónomo Johannes Kepler, que descubrió las leyes de los movimientos planetarios. Kepler despertó el interés latente por las matemáticas del catedrático de hebreo, cuya habilidad para realizar cálculos se había apolillado un poco con el paso de los años. Así que



decidió fabricar una máquina que lo ayudara con sus sumas. La máquina de Schickard se ha descrito como un «reloj de cálculo». Se pretendía que sirviera de ayuda a los astrónomos, al permitirles calcular las efemérides (las futuras posiciones del Sol, la Luna y los planetas).

Desgraciadamente, nunca sabremos si esta máquina funcionaba, o cómo se pretendía que funcionara exactamente. El primer y único prototipo aún no se había terminado cuando tanto este como los proyectos de Schickard fueron destruidos por el fuego, durante la guerra de los treinta años. Schickard quedó así reducido a un mero pie de página histórico, en lugar de convertirse en el inventor del mayor avance tecnológico desde la invención del arnés.

Lo que sí sabemos es que la máquina de Schickard fue una precursora del ordenador digital, en el que los datos se introducen en forma de números. En el otro tipo de ordenador, el analógico, los números de entrada (y salida) se sustituyen por una cantidad susceptible de ser medida, como la tensión, el peso o la longitud. Esta última se utilizó en el primer ordenador analógico: la regla de cálculo, inventada en la década de 1630. La regla de cálculo más simple consta de dos reglas, ambas marcadas con escalas logarítmicas. Al deslizar las dos reglas, de forma que quede un número frente a otro, se pueden multiplicar y dividir con facilidad.

La regla de cálculo fue inventada por William Oughtred, cuyo padre había trabajado como escribiente en Eton, y enseñaba a escribir a los alumnos analfabetos. Su hijo recibió las órdenes sagradas como sacerdote, pero siguió los pasos de su padre al dar algunas clases particulares aparte. En la década de 1630 creó la primera regla de cálculo rectilínea (es decir, con dos reglas rectas). Pocos años más tarde, se le ocurrió la idea de la regla de cálculo circular (que tiene un círculo móvil dentro de un anillo, en lugar de reglas deslizantes). Desgraciadamente, uno de sus alumnos se apropió la idea y la publicó primero, afirmando que el descubrimiento había sido suyo. Aunque el gesto no gustó a Oughtred, se puede decir que acabó sus días feliz. Devoto monárquico, se dice que falleció en «estado de éxtasis», al oír que Carlos II había recuperado su trono.

La regla de cálculo primitiva fue evolucionando con el tiempo, hasta convertirse en un dispositivo capaz de realizar cálculos complejos. Entre los

que contribuyeron a su desarrollo se encuentra James Watt, que la utilizó para calcular el diseño de sus máquinas de vapor originales, en la década de 1780. Amadeé Mannheim, un oficial de artillería francés, fue el artífice de un nuevo avance. Diseñó una forma más sofisticada de regla de cálculo, cuando aún era estudiante, lo que le permitió obtener unos resultados sobresalientes en los exámenes, que a su vez lo lanzaron a una brillante carrera dentro de la educación militar. Fue precisamente la versión de la regla de cálculo de Mannheim la que alcanzó gran popularidad durante la primera mitad del siglo XX: era el accesorio característico *de rigueur* en el bolsillo de la pechera de cualquier científico de bata blanca.

Pero volvamos al ordenador digital. El siguiente avance en este campo vino de la mano del matemático francés del siglo XVII, Blaise Pascal, que casualmente nació en 1623, el mismo año en que Schickard había inventado el «reloj de cálculo» original. El padre de Blaise Pascal era un recaudador de impuestos reales, que tenía ya bastantes dificultades para recaudar dinero como para, además, poder presentar las cuentas que necesitaba el tesorero real. Para ayudarlo, su joven y precoz hijo intentó diseñar una máquina de contabilidad. Con 19 años ya había construido un modelo que funcionara. Los números se introducían en la máquina mediante discos graduados con números, y conectados a ejes con ruedas dentadas y engranajes. La máquina de Pascal podía sumar y restar cifras de hasta ocho dígitos. Esta máquina era extremadamente complicada, y llevaba las técnicas mecánicas del momento a sus límites, e incluso los superaba. La máquina, sin embargo, tenía muchos problemas con los engranajes. Pero Pascal era un perfeccionista, y afirmaba haber hecho «más de 50 modelos, y todos diferentes». Pascal no era solo un gran matemático, sino que también fue el mejor filósofo religioso de su tiempo. Atormentado por una salud muy frágil, su celo religioso se incrementaba de forma inversamente proporcional a su salud. Pero siguió siendo un matemático hasta el fin de sus días, y llegó a reducir la fe a una probabilidad matemática. En su opinión, aunque se podían calcular las posibilidades de la inexistencia de Dios, era mejor apostar por Su existencia, ya que no había nada que perder en caso de que no fuera cierto.

Siete de las máquinas de Pascal han llegado a nuestros días: son obras

maestras del ingenio que incorporan varios principios aún utilizados en los ordenadores mecánicos. Algunas de las máquinas de Pascal que han perdurado aún funcionan, aunque nadie ha descubierto todavía cómo utilizarlas para calcular las posibilidades de la existencia de Dios.

El siguiente avance significativo para el ordenador digital lo logró el filósofo alemán Gottfried Leibniz, el Leonardo da Vinci de su época. Entre otras muchas cosas, Leibniz creó nada menos que dos filosofías (una optimista y otra pesimista), un plan detallado para la invasión de Egipto, una historia en 15 volúmenes de la Casa de Hannover y una calculadora muy superior a la de Pascal.

El interés de Leibniz por las calculadoras no era únicamente práctico. Cuando aún estaba en la universidad, escribió un artículo en el que explicaba la base teórica de una calculadora y sus posibilidades (un trabajo que señalaba ya el camino para las ideas básicas que Turing habría de tener sobre este tema, casi 300 años más tarde). En torno a la misma época, inventó también una matemática binaria, similar a la que sería el lenguaje de los ordenadores digitales, aunque no llegó a combinar ambos elementos.

Leibniz creó su calculadora en 1673, después de haber visto una de las máquinas de Pascal en París. Desgraciadamente, Leibniz estaba arruinado en ese momento, y sus esfuerzos se vieron paralizados por la necesidad de hacer que su máquina fuera viable desde un punto de vista comercial (la máquina de Pascal era demasiado compleja para que pudiera fabricarla nadie más que él). En cuanto Leibniz hubo terminado su máquina, cruzó el Canal de la Mancha para mostrarla a la Royal Society de Londres. Sus miembros no parecieron impresionados, y abandonó el proyecto cuando aún no tenía más que un prototipo.

A pesar de estas limitaciones, la máquina de Leibniz era extraordinaria. Al igual que la de Pascal, se accionaba mediante una sucesión de ruedas dentadas, pero era capaz de hacer muchas más cosas que la de Pascal. Desde el primer momento podía multiplicar (mediante sumas repetidas), pero además Leibniz pronto añadió unos dispositivos que permitían efectuar divisiones y calcular también raíces cuadradas.

Leibniz veía un gran futuro para las calculadoras, aunque no volvió a

encontrar tiempo para hacer nuevos intentos prácticos en este campo. Esto, sin embargo, no impidió que su mente, siempre activa, pensara en las calculadoras y el papel que podrían desempeñar en el futuro. Para él, algún día, las calculadoras resolverían todas las disputas éticas. Bastaría con insertar los diferentes argumentos y la máquina «calcularía» cuál era superior (aunque las bases precisas para semejante cálculo quedaron en la misma categoría que el cálculo de las posibilidades de la inexistencia de Dios: es decir, siguen siendo un misterio para todos, salvo para el genio que las concibió).

Del mismo modo, Leibniz predijo también que las calculadoras quitarían trabajo a los jueces: los tribunales del futuro estarían presididos por calculadoras que emitirían tanto el fallo como la sentencia adecuada. Una presciencia tan sorprendente podría hacernos pensar en una historia de terror informático, pero Leibniz lo veía de forma muy diferente. Esencialmente, era un hombre optimista, y pensaba que «todo es para bien en el mejor de los mundos posibles». No cabe imaginar cómo habría sido el mundo si Leibniz hubiera dedicado algo más de sus excepcionales energías a la producción de calculadoras.

El siguiente avance importante en este campo se debió a un hombre que era totalmente ajeno de él: Joseph Marie Jacquard, un técnico francés dedicado al negocio de los telares. A principios del siglo XIX, creó un telar innovador, en que el patrón del tejido estaba controlado por tarjetas perforadas. Así surgió la idea de programar una máquina, aunque Jacquard no tenía ni idea de lo importante que era su invento. Afinó más su idea; sin embargo, funcionó demasiado bien: sus máquinas originaron protestas en Lyon, en la década de 1820, cuando los trabajadores de los telares que habían sido despedidos tomaron por asalto las fábricas y destruyeron muchas de las máquinas. Aún hoy se emplea el método de Jacquard para el tejido de patrones complejos.

Calculadoras de mecánica compleja, la idea de la programación, una teoría de los números racionales: los elementos básicos del ordenador moderno estaban empezando a aparecer. Pero hizo falta un genio para descubrir cómo combinar todos estos elementos dispares. En general, se

reconoce a Charles Babbage como el padre de los ordenadores. Al igual que muchos genios prácticos, era increíblemente poco práctico en cualquier sentido de la palabra, pero sus descubrimientos y logros estaban un siglo por delante de su tiempo.

Babbage nació en 1791, y heredó una considerable fortuna personal. Era un joven de buen carácter, que pronto demostró ser una promesa de excepción en el campo de las matemáticas. Logró que se introdujeran las notaciones matemáticas de Leibniz en Gran Bretaña (los matemáticos británicos habían insistido, patrióticamente, en utilizar la notación original — pero inferior— de Newton, con ello se aislaron a sí mismos de un siglo de avances del resto de Europa).

Después, Babbage desvió su atención hacia otro de los problemas que atenazaban a los científicos británicos: los errores que aparecían por doquier en las impresiones de las tablas astronómicas y matemáticas. Por ejemplo, se descubrió que la primera edición de *Nautical Ephemeris for Finding Latitude and Longitude at Sea* (*Efemérides náuticas para hallar latitudes y longitudes en el mar*) tenía más de... ¡mil errores!

Babbage decidió que había una única solución para el problema de las tablas erróneas. Había que construir una calculadora grande, infalible y multiusos. Después de solicitar y lograr ayuda gubernamental, Babbage emprendió la construcción de su aclamada «máquina diferencial nº 1». Este proyecto era enormemente ambicioso: la máquina de Babbage tenía que ser capaz de calcular cifras de hasta 20 dígitos; también tenía que almacenar una serie de números y efectuar sumas con estos. Los cálculos de la máquina podían reducirse a sumas porque utilizaría el método de las múltiples diferencias. Este método se basa en los polinomios (fórmulas algebraicas formadas por varios términos) y en el hecho de que estos mantienen una diferencia constante. En su forma más simple sería como sigue:

Donde  $f(x) = 2x + 1$

si  $x = 1 \dots 2 \dots 3 \dots 4\dots$

$f(x) = 3 \dots 5 \dots 7 \dots 9\dots$

diferencias =  $2 \dots 2 \dots 2 \dots 2\dots$

Huelga decir que la operación no resulta tan sencilla con funciones más complejas. Pero es posible hallar una diferencia constante en las diferencias entre las diferencias (o las diferencias entre las diferencias entre las diferencias). En la mayoría de los casos, si un polinomio tiene un término  $X^n$  hay que calcular  $n$  diferencias para encontrar una diferencia constante. Para calcular el polinomio de una sucesión de valores de  $X$ , como cuando se calculan tablas, a una máquina le resulta más sencillo sumar la diferencia constante y volver atrás, sumando diferencias, en lugar de iniciar una serie de complejas multiplicaciones. Además, las funciones como los logaritmos y funciones trigonométricas, que no operan de la misma forma, se pueden reducir a polinomios muy aproximados.

Como sus antecesores, la «máquina diferencial nº 1» utilizaba ruedas dentadas y funcionaba con el sistema decimal, pero su fabricación superaba con mucho la complejidad de las máquinas anteriores, lo que hizo necesarios diversos avances dentro de la ingeniería mecánica.

Sin embargo, Babbage era muy capaz de realizar esta tarea gracias a su magistral capacidad de improvisación. A medida que su máquina crecía, se le ocurrían ideas brillantes para añadirle nuevas características que iba incorporando sobre la marcha. La «máquina diferencial nº 1» se empezó a fabricar en 1823, pero nunca llegó a terminarse. Después de diez años de trabajo, Babbage había convertido su proyecto original en una máquina de 25 000 piezas (y solo se habían fabricado 12 000), y el coste se elevaba a 17 470 libras (en aquellos días, esa suma era suficiente para fabricar un par de buques de guerra). Babbage había puesto grandes sumas de su propio bolsillo, pero el Gobierno decidió frenar el proyecto. Era mejor invertir en una flota que en una máquina que podría acabar contribuyendo a la deuda nacional en una cifra que solo esa misma máquina podría calcular. A pesar de todas esas dificultades, en 1827 Babbage había utilizado la única parte operativa de su máquina (formada por apenas 2000 piezas) para calcular tablas de logaritmos de 1 a 108 000. Esta parte de la «máquina diferencial nº 1» se considera la primera calculadora automática. Había que introducir las cifras y los resultados salían en forma impresa (con lo que se reducía el

margen de error humano).

Sin embargo, esto era solo el principio para Babbage. Para la década de 1830 ya tenía el proyecto de una «máquina diferencial nº 2». Este concepto supuso un avance significativo en las técnicas de cálculo. La «máquina diferencial nº 2» se convirtió en la primera máquina analítica: una máquina cuyo funcionamiento estaba controlado por un programa externo. Babbage había oído hablar de la idea de Jacquard sobre las tarjetas perforadas para controlar el mecanismo de una máquina y decidió incorporarla a su propia máquina. Esto le permitiría realizar cualquier cálculo aritmético en función de unas instrucciones insertadas en tarjetas perforadas. Al igual que la primera máquina diferencial, también necesitaba una memoria para almacenar números, pero la nueva máquina debería poder realizar una secuencia de operaciones con esos números almacenados. Babbage había dado con las características esenciales del ordenador moderno.

El núcleo mecánico al que se asociarían estas características era el *plato fuerte*. Iba a contener mil ejes, con al menos 50 000 engranajes y se pretendía que calculara números de 50 dígitos en el sistema decimal.

Desgraciadamente, el Gobierno no se dejó intimidar por estas increíbles posibilidades, y prefirió no hacer nuevos intentos para arruinar al erario. A estas alturas, la fatiga producida tras largos años de trabajo duro sin resultados había hecho estragos en el carácter de Babbage. El atractivo joven de Cambridge se había convertido en un vejestorio irascible que merodeaba por las calles de Londres. Le cogió manía al ruido que hacían los músicos callejeros que «no sin frecuencia hacen que los pilluelos andrajosos se pongan a bailar y que, hasta hombres casi ebrios sigan los bailes, y acompañen el ruido con sus propias voces discordes... Otro grupo que apoya con vehemencia la música callejera es el de las señoras de elástica virtud y tendencias cosmopolitas, que encuentran en ella una excusa decente para exponer sus encantos desde las ventanas abiertas». Babbage inició una campaña para que prohibieran a los músicos callejeros, afirmando que le impedían trabajar en paz. Los músicos callejeros se vengaron reuniéndose justo debajo de su ventana. Babbage dejó escrito que «en una ocasión, una banda de música estuvo tocando durante cinco horas, sin apenas pausa».

Para entonces, Babbage había invertido buena parte de su fortuna en la persecución de su sueño de las máquinas diferenciales. Durante varios años, Lady Ada Lovelace, hija del poeta Byron y una de las mujeres matemáticas más brillantes de su tiempo, le ayudó en sus esfuerzos. (El papel de esta mujer en la historia de los ordenadores fue reconocido con honores cuando el Departamento de Defensa de Estados Unidos le puso su nombre, ADA, a su lenguaje de programación). Lady Lovelace también ayudó a Babbage en un intento optimista de recuperar su fortuna. Juntos dedicaron mucho tiempo y energía a intentar crear un sistema de apuestas infalible para las carreras de caballos. Sin embargo, las demostraciones prácticas de este sistema resultaron casi tan costosas como la máquina diferencial.

A pesar de tales reveses, Babbage tuvo tiempo de inventar el quitapiedras de la locomotora y de descubrir que los anillos de los árboles podían leerse como registros meteorológicos. Después de su muerte, en 1871, los diseños operativos para su «máquina diferencial nº 2» permanecieron en el olvido durante muchos años. Más tarde, se construyó el núcleo de la primera máquina analítica del mundo según unos planos modificados de la «máquina diferencial nº 2». Esta enorme construcción de tres toneladas puede verse hoy en día, en todo su esplendor, en el Museo de Ciencias de Londres. Y funciona (en las pruebas se configuró para que calculara 25 múltiplos del número  $\pi$ , de 29 dígitos decimales, tarea que sus 50 000 ruedas dentadas digirieron con insultante facilidad).

Babbage había definido las características básicas del ordenador moderno, pero sus máquinas presentaban una desventaja fundamental: funcionaban solo dentro de las matemáticas decimales. Este problema se solucionó gracias al trabajo de George Boole, uno de sus contemporáneos. Boole nació en 1813, hijo de un zapatero de Lincoln. Aunque casi totalmente autodidacta, demostró tal agudeza intelectual que fue nombrado catedrático de matemáticas en el Queen's College, en Cork, donde acabó casándose con Mary Everest, sobrina del hombre que dio nombre a la montaña.

En 1854, Boole publicó su *Investigation of the Laws of Thought* (*Investigación de las leyes del pensamiento*), que introdujo lo que actualmente se conoce como álgebra booleana. En esta obra, Boole sugería



que la lógica pertenece al ámbito de las matemáticas, más que al de la filosofía. Al igual que la geometría, se basa en una serie de axiomas sencillos. Además, al igual que la aritmética tiene unas funciones primarias, como la suma, la multiplicación y la división, la lógica puede reducirse a operadores como «y», «o» o «no». Estos operadores pueden utilizarse en un sistema binario (el sistema digital tiene diez dígitos; el sistema binario funciona igual, pero solo con dos). El «verdadero» y «falso» de la lógica se reducen al 0 y 1 de la matemática binaria. Así, el álgebra binaria reduce cualquier proposición lógica, independientemente del número de términos que contenga, a una simple secuencia de símbolos binarios. Eso cabría en una simple tira de papel, en la que el álgebra binaria se reduce a una secuencia de orificios (y ausencia de orificios). De este modo, se podría introducir todo un «argumento» lógico o programa en una máquina.

Con dígitos binarios, las máquinas podrían seguir instrucciones lógicas y su matemática se adaptaba perfectamente al circuito eléctrico de encendido/apagado. Así, el dígito binario (o bit) llegó a ser la unidad fundamental de información de los sistemas informáticos.

Sin embargo, los avances individuales de Babbage y Boole siguen sin recibir reconocimiento. En lo que al mundo respecta, el siguiente paso importante lo dio Herman Hollerith, un estadístico estadounidense. Hollerith desarrolló una «máquina de censo», que podía leer tarjetas de hasta 288 orificios, y almacenar la información. Su máquina electromecánica podía leer hasta 80 tarjetas por minuto. Cuando se utilizó para el censo de estadounidenses de 1890, la máquina de Hollerith procesó todos los datos en seis semanas (la elaboración del anterior censo, de 1880, había llevado tres años). En 1896 Hollerith se metió en el mundo de los negocios, y creó la Tabulating Machine Company, que más adelante se convertiría en la International Business Machine Corporation (IBM).

Se habían descubierto los elementos necesarios para el ordenador moderno (incluyendo la explotación comercial). Lo único que faltaba era que alguien descubriera qué podía hacer: las posibilidades y limitaciones teóricas. Esto fue lo que hizo Alan Turing.

## Vida y obra de un enigma

Alan Turing nació en Londres en 1912, en el seno de una familia inglesa de clase media alta. Su padre pertenecía a la Administración en la India y su madre era hija del ingeniero jefe del ferrocarril de Madrás. En 1913, sus padres volvieron a la India, dejando al recién nacido Alan y a su hermano de cinco años al cuidado de un coronel retirado y su esposa, en la ciudad de St. Leonard-on-Sea, en el condado de Sussex.

En aquellos días, los padres ingleses respetables no pensaban que fuera malo abandonar a los hijos de esta forma. Incluso los que no podían marcharse a las colonias contrataban a niñeras y mandaban a sus hijos a internados (desde los siete a los dieciocho años), para asegurarse de ver poco, y oír menos, a sus hijos. Este temprano abandono apenas afectó a John, hermano de Alan, como apenas afectó a la mayor parte de esa generación de clase media; todos acabaron convirtiéndose en típicos colegiales ingleses de colegios privados. (Solo ahora, en que los tiempos se han vuelto mucho más exigentes, empezamos a pensar que esta especie característica de jóvenes estaba mutilada emocionalmente). Alan Turing, sin embargo, resultó ser un niño normal, por lo que la experiencia lo afectó sobremanera. Desarrolló un pronunciado tartamudeo, su autosuficiencia era rayana en la excentricidad y se sentía incapaz de participar en la charada de las costumbres sociales.

Cuando su madre volvió, para una larga visita, en 1916, Alan reaccionó con sentimientos encontrados, que habría de conservar toda su vida. Quería tiernamente a su madre, pero también pensaba que era una mujer imposible. Por su parte, parece que la señora Turing era, efectivamente, imposible, pero además difícil de querer. Su principal preocupación vital era que Alan

pareciera respetable. Desgraciadamente, el «diablillo» que Alan llevaba dentro hizo que eso también fuera imposible.

En el internado, desde el principio Alan se comportó de forma especial. Era siempre el único que iba desaliñado, el que tenía tinta en los dedos, el que no encajaba en el grupo. Lo que es peor, parecía no querer encajar. Era tímido, solitario, y su tartamudeo solo servía para empeorar las cosas. El menor de los Turing no parecía una promesa. Tuvo problemas para aprender a leer y a escribir. Sin embargo, un día decidió que quería leer y aprendió por su cuenta en tres semanas. Para cuando cumplió los once años, había desarrollado una pasión por la química orgánica, pero seguía sin sentir ningún interés por otras materias y ni siquiera era capaz de hacer divisiones largas.

Cuando el matrimonio Turing regresó de la India definitivamente, decidieron quedarse en Dinard, en Bretaña, para evitar el pago de impuestos. Sin embargo, no puede decirse que se tratara estrictamente de un acto egoísta por su parte: sencillamente, no se podía considerar a alguien como miembro de la clase media si no enviaba a sus hijos a un colegio privado, que era más de lo que los Turing podían permitirse económicamente. Había que evitar este estigma social como fuera, aunque supusiera el exilio. Así que, cuando los padres volvieron por fin del extranjero, sacaron a los niños de donde estaban y los llevaron a vivir con ellos a una casa diferente. Todo por su bien, por supuesto.

De hecho, sí fue por su bien. Alan disfrutó de estas vacaciones en Francia, y aprendió rápidamente el idioma. Además, su educación privilegiada acabó despertando las adormecidas cualidades que había heredado. Su abuelo paterno había sido un estudioso de las matemáticas en Cambridge, y un antecesor angloirlandés de su madre había sido el inventor del término «electrón», en 1891 (aunque lo que verdaderamente impresionaba a la familia, y compensaba el *fuax pas* de ser un científico, era que había sido elegido miembro de la Royal Society).

Era estupendo que Alan jugara a hacer «tufos» con su juego de química del colegio, pero no era más que una afición. Para recibir una buena educación y salir adelante en la vida, debía aprender latín. Después de todo,

*para eso* lo estaban educando. Para eso se estaba invirtiendo todo ese dinero: para que pudiera aprender algo y no se dedicara solo a jugar con ese espantoso juego de química. Sin el latín, nunca aprobaría el examen general para entrar en un colegio privado (en la Inglaterra de entonces, a los colegios privados se los denominaba «públicos», pero ni el examen de acceso tenía nada de «general», ni los colegios «públicos» nada de público).

Para alivio de todos, Alan consiguió entrar por los pelos en Sherborne, un colegio privado de razonable prestigio, en Dorset. A los 13 años, abandonó Francia solo para empezar su primer trimestre en el nuevo colegio. Cuando el transbordador llegó a Southampton, se encontró con que la huelga general había empezado ese mismo día. El país estaba paralizado: no había trenes, ni transportes de ningún tipo. Con el ingenio que lo caracterizaba, compró un mapa y recorrió en bicicleta los casi 90 kilómetros que lo separaban de Sherborne, donde llegó convertido prácticamente en héroe.

Sin embargo, Turing no logró estar a la altura de lo que prometía. No tardó en ponerse de manifiesto que no iba a ser el tipo de héroe de colegio privado. Ese niño desaliñado, raro y tartamudo no parecía interesado en hacer amigos ni en ganar popularidad. Sin embargo, tampoco se rebelaba contra la sociedad. Sencillamente, adoptó un enfoque asocial: prefería hacer las cosas a su manera, en lo posible, pero siempre *dentro* del sistema. Esta actitud habría de mantenerla toda su vida. Se conformaba, pero al mismo tiempo no se conformaba.

En consonancia con la ética deportiva de los colegios privados, Turing se decantó por la carrera de fondo, uno de los deportes en que no había que jugar en equipo. Pese a sus pies planos, era sorprendentemente bueno en esta especialidad. Físicamente, al igual que intelectualmente, Turing siempre mostró una resistencia excepcional... siempre y cuando le apeteciera. Además, en Sherborne descubrió un profundo interés por las matemáticas. Estaba poco interesado en las clases convencionales, y empezó a estudiar el tema por su cuenta, aventajando con mucho a sus compañeros, aunque al mismo tiempo seguía sin conocer ni los principios más básicos. Pronto empezó a leer acerca de la relatividad, y desarrolló un profundo interés por la criptografía. Solía hacer orificios en una hoja de papel; al colocarla sobre una

página de un libro concreto se obtenía un mensaje. Sin embargo, para crear mensajes cifrados era necesario un receptor. Cuando Turing cumplió 15 años, encontró a ese alguien, un chico mayor llamado Christopher Morcom, a quien todos consideraban el mejor matemático del colegio. Su interés común por las matemáticas fue la base de su amistad. Sin embargo, para Turing esto llegó a ser algo más que amistad: se enamoró de Christopher.

Esta experiencia fue extremadamente casta, pero también muy desconcertante para Turing. No podía admitir sus sentimientos ante nadie, ni siquiera Christopher (que, aparentemente, desconocía la naturaleza de los sentimientos que Turing le profesaba). Turing ni siquiera podía admitir estos sentimientos ante sí mismo. Al igual que la mayoría de los miembros de su clase social en aquel entonces, Turing era un ignorante en materia de sexo y emociones de esta índole. Los chistes verdes y la masturbación solo servían para aumentar esta ignorancia. Sherborne, al igual que muchos otros colegios privados, creía firmemente en la represión. Si no se prestaba atención al sexo, la necesidad cesaría. De hecho, el interés de Turing por la carrera a campo traviesa venía en parte de que lo distraía de sus pensamientos masturbatorios.

Christopher era un joven de pelo claro y ojos azules, de constitución delgada. Turing encontraba en Christopher la misma inclinación a seguir unos principios. (Estos, en el caso de Turing, no eran evidentes, ya que estaban eminentemente relacionados con la protección de su individualismo interior, pero en realidad eran unos principios firmes, lo suficientemente sólidos para que mantuviera las diferencias con los que lo rodeaban). Christopher era un joven de principios, sin caer en la pacatería. No se sumaba a las «conversaciones picantes» de los demás, que el propio Turing encontraba de tan mal gusto.

De vez en cuando, Christopher se ausentaba del colegio y regresaba con aspecto débil y más delgado. Turing sabía que Christopher tenía mala salud, pero desconocía la gravedad de la situación: Christopher padecía en realidad de tuberculosis bovina. A principios de 1931, cayó inesperadamente enfermo en el colegio y lo llevaron a un hospital de Londres, donde falleció a los pocos días.

Turing quedó desolado. Christopher había sido la primera persona que

había logrado atravesar su coraza de soledad. Jamás olvidaría su amor adolescente por Christopher. La idea del amor secreto y casto — frecuentemente necesario, en los días en que la homosexualidad era un delito — habría de ayudarlo en muchos momentos difíciles de su vida.

Turing se ganó merecidamente una beca para el King's College, en Cambridge, donde ingresó en octubre de 1931. Al principio, no hablaba con mucha gente y se mantuvo aislado, disfrutando de la novedad de un cuarto individual y privado, donde podía estudiar tranquilamente. Sin embargo, su tartamudeo se hizo más evidente, y su confusión psicológica no desaparecía. Turing sufrió solo y en silencio al comprender su sexualidad, mientras otros reconocían con burla los rasgos distintivos de los homosexuales. Afortunadamente, no tardó en descubrir que uno de sus compañeros de matemáticas compartía sus inclinaciones, y ambos iniciaron una relación sexual sin grandes compromisos.

A principios de la década de 1930, Cambridge era una de las primeras instituciones matemáticas y científicas del mundo. El físico teórico anglosuizo, Paul Dirac, y sus colegas consideraban que la universidad solo era superada en el campo de la física cuántica por la de Göttingen. El King's College estaba especialmente bien dotado: George Hardy, uno de los mejores matemáticos de su tiempo, y Arthur Eddington, cuyo trabajo había ratificado la teoría de la relatividad de Einstein, eran tutores residentes y dieron clases a Turing.

Sin embargo, Turing estaba particularmente interesado en la lógica matemática. En 1913, Russell y Whitehead, ambos tutores de Cambridge, habían publicado *Principia Mathematica*. Con ello intentaban aportar una base filosófica para las matemáticas, con el fin de establecer así su certeza. Russell y Whitehead intentaron demostrar que todo el edificio de las matemáticas podía derivarse de ciertos axiomas lógicos fundamentales (en cierto modo, esto es lo contrario de lo que Boole intentara cerca de medio siglo antes). Russell y Whitehead no lograron un éxito total, ya que en el camino encontraron algunos problemas lógicos.

Por ejemplo, tomemos una proposición como: «Lo que estoy diciendo es falso». Si la proposición es verdadera, lo que dice es falso; si es falso, lo que

dice es cierto. En la jerga de los lógicos, esta proposición era formalmente indeterminable. Las matemáticas no podrían basarse en axiomas lógicos hasta que las paradojas de ese tipo se resolvieran. Sin embargo, muchos pensaban que tales dificultades eran superficiales. No llegaban al corazón del proyecto: no invalidaban el intento de basar las matemáticas en un apoyo lógico bien fundado.

En 1931, todo esto cambió, cuando el *enfant terrible* de la lógica, el austriaco Kurt Gödel publicó su trabajo sobre las proposiciones formalmente indeterminables de *Principia Mathematica*. En este trabajo, aportó pruebas visibles de lo que, para horror de sus colegas, podría ser «el fin de las matemáticas».

Gödel tomó la proposición «esta afirmación no puede ser probada» y demostró que no podía probarse que fuera cierta (porque si lo fuera habría una contradicción), pero tampoco que fuera falsa, por la misma razón. Gödel logró demostrar que, dentro de cualquier sistema matemático estrictamente lógico, siempre habría proposiciones cuya veracidad o falsedad no podría ser demostrada, partiendo de los axiomas en los que se basara ese sistema. ¡Las matemáticas eran incompletas! Lo que es peor, parecían irremediabilmente dañadas, ya que esto significaba que no podríamos estar seguros de que los axiomas básicos de la aritmética no fueran a dar resultados contradictorios. ¡Las matemáticas eran ilógicas! (y, ¡oh horror de los horrores!, ¡también la lógica era ilógica!).

Estos avances causaron un profundo efecto en Turing. Demasiado, tal vez. Porque, como de costumbre, había llegado muy lejos, pero olvidando la base. Así, solo logró un aprobado alto en la primera parte de los *trijos* (los exámenes de Cambridge). Afortunadamente, sin embargo, en los exámenes finales estuvo a la altura y logró un sobresaliente, lo que le permitió quedarse en Cambridge y dedicarse a la investigación. Tanto Eddington como Hardy estaban convencidos de que poseía habilidades excepcionales.

Para entonces, Turing estaba ganando confianza en sí mismo. Seguía siendo un alma solitaria y un tanto extraña, pero ya no tenía motivos para ocultar su homosexualidad. En las conversaciones con sus colegas, de vez en cuando dejaba caer algún comentario casual sobre sus preferencias sexuales.

Esto se integra dentro de su naturaleza: por sus principios, insistía en la franqueza, ante sí mismo y ante los demás. Había, sin embargo, excepciones. No le habló a su madre de su homosexualidad, ni de su recién descubierto ateísmo.

Turing sorteaba este engaño con su particular forma de actuar. Cuando iba a casa, en Navidades, cantaba canciones propias de Pascua, y en Semana Santa cantaba villancicos (al parecer, el principio de incertidumbre de Gödel también tenía aplicaciones prácticas). Secamente, como observa el principal biógrafo de Turing, Andrew Hodges, la familia seguía siendo «el último bastión del engaño».

Mientras tanto, la madre de Alan seguía tratándolo como al patito feo de la familia, e insistía en que adoptara una apariencia más elegante, le ordenaba que se cortara el pelo, etc., en cuanto llegaba a la casa de Guilford (la familia había dejado el exilio forzado por el pago de impuestos y había vuelto a la respetabilidad de los condados locales, ahora que habían dejado de pagar la educación de sus hijos).

Aunque Turing fuera elegido becario del King's College y se convirtiera en una de las mentes matemáticas más prometedoras de Gran Bretaña, su madre se seguía avergonzando de aquel niño sin remedio, siempre con la cabeza en las nubes. El aspecto aniñado de Turing contribuía a ello. Tanto física como mentalmente mantuvo, durante toda su vida, un comportamiento curiosamente juvenil.

La relación que mantenía con su madre siguió siendo muy estrecha. Cuando escribía a casa, trataba incluso de mantenerla al tanto de su pensamiento matemático, y hasta mencionaba la teoría cuántica o la relatividad. Aunque habría que ver cuánto de todo esto entendía la señora Turing. Era una mujer inteligente, que venía de un medio culto, pero su religiosidad y su firme creencia en que había que mantener las apariencias eran lo más importante para ella. Seguía viendo a Alan como un hijo díscolo. Lo más normal, claro, era que eligiera destacar en algo tan poco *chic* como las matemáticas.

Pero efectivamente, destacó. Su tesis de licenciatura le valió una beca, y ahora estaba dedicado a absorber los últimos avances de las mejores mentes



científicas y matemáticas del momento. Después de que Hitler accediera al poder en Alemania, en 1933, muchos de los exiliados alemanes pasaron por Cambridge, y a menudo dieron conferencias. Así, Turing tuvo la oportunidad de oír a Schrödinger hablar de la mecánica cuántica, materia que prácticamente había inventado. También asistió a un curso completo de mecánica cuántica que impartía Max Born, recién salido de Göttingen. Otro de los exiliados de Göttingen, Richard Courant, dio un curso sobre ecuaciones diferenciales.

Tanto Born como Courant habían trabajado con David Hilbert, catedrático de la universidad de Göttingen, comúnmente considerado como uno de los mejores matemáticos de la historia. Al igual que Russell y Whitehead, había intentado darle un punto de apoyo formal a las matemáticas, basándolas en unos pocos axiomas básicos. De estos, mediante una serie de reglas bien definidas, surgirían todas las posibilidades matemáticas.

El «programa Hilbert», como se lo conocía, también se detuvo en seco al topar con la denominada «catástrofe Gödel», que demostraba que las matemáticas eran incoherentes desde el punto de vista de la lógica. Sin embargo, a pesar de este claro intento, la teoría de Gödel no logró acabar con las matemáticas. La gente siguió utilizándolas, a pesar de él, especialmente los matemáticos. Al parecer, un triángulo seguía siendo un triángulo, los puentes no se caían, y los presupuestos nacionales aumentaban (o no aumentaban, pero esto no era culpa de las matemáticas). De hecho, muchos entendían la demostración de Gödel como una mera interferencia sin importancia. Lo que importaba, en matemáticas, era la verdad, no la consistencia. (Pero ¿son compatibles la verdad y la inconsistencia?).

Al margen de tales disputas, la teoría de Gödel dejaba algunas cuestiones matemáticas por resolver. Y estas cuestiones señalaban el camino para mitigar los daños. De acuerdo, un sistema axiomático, como las matemáticas, podría originar proposiciones arbitrarias (cuya veracidad o falsedad no podría ser demostrada) pero ¿era posible determinar si tal proposición era arbitraria desde dentro del sistema? En otras palabras, ¿podría identificarse semejante proposición utilizando una serie de reglas derivadas de los axiomas básicos

en los que se fundaba el sistema? ¿Podría determinarse mediante una serie de pasos concretos, de procedimientos mecánicos, que cualquiera, o incluso una máquina, pudiera seguir? De ser así, estas proposiciones arbitrarias podrían ser identificadas y olvidadas sin que todo el sistema se resintiera. Sin embargo, si no pudieran ser identificadas de este modo, todo estaba perdido: las matemáticas padecerían una inconsistencia endémica.

Este era el problema que Turing se había propuesto resolver. Era un proyecto extremadamente ambicioso: la solución era crucial para las matemáticas. Para poder resolverlo, Turing inventó un concepto cuyas consecuencias desbordarían los límites de las matemáticas.

¿Cuáles eran los procedimientos mecánicos (o reglas) que podrían utilizarse para determinar si una proposición matemática era susceptible, o no, de ser demostrada? Estas reglas se adentraban en el corazón mismo del cálculo. ¿Qué era un número computable y cómo se calculaba? El cálculo era un proceso estricto, como un proceso realizado por una máquina. Turing intentó definir la naturaleza teórica de una máquina semejante, ahora conocida como «la máquina de Turing».

Esta máquina solo funcionaba de acuerdo con unas reglas, y podía calcular cualquier cosa para lo que existiera un algoritmo, es decir, una secuencia precisa de pasos que condujera a una conclusión.

Por ejemplo, tomemos el procedimiento de encontrar los factores de un número (es decir, los números primos por los que es divisible). Un ejemplo sencillo: para hallar los factores de 180, *dividir por el número primo más bajo posible, hasta llegar a un número que no sea divisible por ese número primo y repetir el proceso con el siguiente número primo ascendente, hasta completar la división* (los números primos son los que solo son divisibles por 1 y por sí mismos, por ejemplo: 2, 3, 5, 7, 11, 13...).

$$180 : 2 = 90$$

$$90 : 2 = 45$$

$$45 : 3 = 15$$

$$15 : 3 = 5$$

$$5 : 5 = 1$$

$$\text{Así, } 180 = 2^2 \times 3^2 \times 5$$

El procedimiento, o algoritmo, es el texto que está en cursiva, y puede aplicarse a cualquier número. Se puede aplicar de forma mecánica, es decir, mediante un pensamiento mecánico o una máquina que piense.

Habría que probar que una máquina de estas características siguiera un procedimiento determinado y realizara una tarea de acuerdo con las reglas del procedimiento. Si las reglas sirvieran para calcular números primos, calcularía números primos. Si fueran reglas de ajedrez, podría jugar al ajedrez. Cada máquina seguiría, simplemente, el procedimiento asignado.

Turing postuló después lo que él denominó una máquina «universal». En esta máquina se podría introducir un número que equivaliera a todo un procedimiento de otra máquina Turing, y la máquina seguiría el procedimiento y se comportaría del mismo modo que la máquina Turing original: jugaría al ajedrez, calcularía números primos, etc.

Desde este punto de partida (puramente teórico), Turing pasó a intentar demostrar su tesis. Lo que Gödel había demostrado era lógico. Lo que Turing iba a demostrar se parecía a la teoría de Gödel (en sus conclusiones), pero era *matemático*.

Turing propuso el concepto de una máquina capaz de reconocer proposiciones arbitrarias dentro de un sistema matemático. Esta máquina teórica tendría que convertirse en una máquina Turing universal. Se introduciría en ella un número que, en forma de clave, llevaría la descripción de otra máquina Turing y actuaría de la misma forma que esta. Pero ¿qué pasaría si en esta máquina universal hipotética se introdujera un número que indicara *su propia descripción*? ¿Cómo se comportaría como ella misma, comportándose como ella misma, comportándose como ella misma, y así sucesivamente? ¿Y cómo podría seguir el procedimiento de comportarse como ella misma, cuando ya estaba comportándose así?

Obviamente, la máquina se volvería loca. En términos teóricos, se vería enfrentada a una contradicción. Dicho de otro modo: una máquina semejante no podría existir, *ni siquiera en teoría*. Lo que significaba que un cálculo semejante no era posible. Era imposible definir una serie de reglas que pudieran determinar si una proposición era susceptible de demostración (o refutación) empleando únicamente procedimientos extraídos del mismo

sistema.

Así pues, las matemáticas no eran solo incompletas desde el punto de vista de la lógica, como Gödel había demostrado, sino que también eran incompletas desde un punto de vista matemático. No había forma matemática de que las matemáticas se separasen de sus propias proposiciones arbitrarias. Turing publicó sus descubrimientos en un trabajo titulado *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem* («Sobre los números computables, con una aplicación al *Entscheidungsproblem*»; esta última palabra impronunciable hace referencia al problema de la determinación lógica, según el planteamiento de Hilbert).

Todos los que entendieron el trabajo, aunque fuera en una medida muy limitada, admitieron que era excepcional. (Aunque pocos, en una época en que aún no había ordenadores, podían darse cuenta de que marcaba un hito). Hasta entonces, las nociones matemáticas fundamentales de computabilidad y números computables habían permanecido confusas; ahora quedaban aclaradas. El cálculo se definía en términos matemáticos precisos, tan precisos que definían el proyecto teórico de una máquina que pudiera realizar esa labor. Al mismo tiempo, Turing había definido los límites de lo que *esta máquina podría hacer*.

La máquina Turing era un ordenador teórico. Actualmente, está considerado el prototipo teórico del ordenador electrónico digital. Turing había dejado trazada la teoría de los ordenadores antes de que el primer ordenador (tal y como lo conocemos) se fabricara.

La tarea que había que acometer era obvia. Sin embargo, en 1937, cuando finalmente se publicó el trabajo de Turing, estaba aún por encima de las capacidades humanas. (Se había producido un retraso en la publicación, porque no se encontraba a nadie que tuviera los conocimientos necesarios para juzgar la originalidad del trabajo de Turing). Para cuando se publicó *Sobre los números computables*, Turing había cruzado el Atlántico y estaba haciendo un doctorado en Princeton. Aquí, el departamento de matemáticas compartía edificio con el Instituto de Estudios Avanzados, de reciente fundación. (Este centro para la investigación científica teórica se había creado en 1933 y estaba convirtiéndose rápidamente en el mejor del mundo en su

categoría, aunque al igual que muchos de sus miembros judíos alemanes, en aquel entonces no tenía un asentamiento fijo). Turing se encontraba entre los dioses. Einstein y Gödel eran residentes, así como Courant y Hardy. La mayoría de ellos permanecían apartados del mundanal ruido, y apenas advirtieron la presencia del joven inglés que, según confesaría atinadamente a su madre, vivía como un «solitario empedernido».

Sin embargo, sí llegó a trabar contacto con uno de los dioses del Olimpo, el matemático austrohúngaro Von Neumann. «Johnny» von Neumann no era en absoluto un solitario desaliñado (como Einstein, Gödel, Turing, etc.), sino un elegante vienés, capaz de crear en segundos fórmulas matemáticas (y mezclas para cócteles) de increíble complejidad. Solo Von Neumann valoró el logro de Turing en toda su dimensión. Advirtió que el joven inglés había creado, en realidad, todo un nuevo campo. (Turing lo había denominado «computabilidad», ya que no había otro término). Von Neumann fue el que comprendió las posibilidades prácticas de la materia. Se percató de que el siguiente paso era construir una máquina Turing.

Entre tanto, Turing seguía con su doctorado, relacionado con otro de los «problemas» de Hilbert. En 1900, Hilbert había esbozado 23 problemas importantes para que los resolvieran los matemáticos del siglo XX añadiendo, de acuerdo al positivismo típico del cambio de siglo, que «todos los problemas matemáticos son resolubles». Turing ya había demostrado que se equivocaba, pero ahora decidió hacer un esfuerzo definitivo para resolver un problema relacionado con la Hipótesis de Riemann, que Hilbert había calificado como «la más importante en matemáticas». Hardy ya había luchado con este problema durante treinta años, pero sin éxito.

Por decirlo de forma sencilla, el problema de Turing estaba relacionado con la frecuencia de los números primos. A principios de la década de 1790, Karl Gauss, niño prodigio alemán de 15 años, del que muchos decían que era el único matemático capaz de equipararse a Newton, descubrió que, aparentemente, los números primos aparecían con menos frecuencia, según el patrón regular. Para el número  $n$ , el espacio entre los primos aumentaría como el logaritmo natural de  $n$ . Se descubrió que esta teoría ofrecía solo errores marginales. Bernhard Riemann, uno de los sucesores de Gauss como

catedrático de matemáticas en Göttingen, mejoró con su aportación la teoría, que incluía la Hipótesis de Riemann, de enorme complejidad. Pero ni siquiera la fórmula de Riemann era absolutamente correcta.

Se descubrió que el método del logaritmo sobreestimaba ligeramente el número de primos y, después de que millones de cálculos lo confirmaran incluso para los números más altos, se aceptó que siempre era así. Entonces, uno de los colaboradores de Hardy, J. E. Littlewood, descubrió que si la hipótesis de Riemann era cierta, no podía ser así. Había un paso a partir del cual se producía la diferencia, y este paso se producía antes de llegar al número

$$10^{10^{10^{34}}}$$

Este número es inconcebiblemente alto. Como Hardy señaló, es el «mayor número utilizado con algún fin matemático». Este número, escrito en números decimales enteros llenaría una cantidad de libros con una masa superior a la del planeta Júpiter, según Hodges, biógrafo de Turing.

Los problemas que esto planteaba eran fundamentales para la teoría de los números. Turing se debatió valientemente entre estos ejercicios mentalmente agotadores, pero con escaso éxito (hasta hoy, la hipótesis Riemann, por ejemplo, sigue sin demostrarse).

Para Turing, los Estados Unidos eran según el día, revitalizantes y turbadores. Trabajaba demasiado y pasaba demasiado tiempo solo, por lo que empezó a padecer depresiones. A esto se sumó un embarazoso incidente, relacionado con su homosexualidad y un acercamiento mal interpretado. En una de las cartas que escribió a su novio de Cambridge (que trabajaba en aquel tiempo como director de un colegio en Walsall), mencionaba de pasada, como solía, que había ideado una forma de suicidarse comiendo una manzana mortal.

Tras dos años en Estados Unidos, Turing volvió a Gran Bretaña, después de rechazar la oferta de Von Neumann de trabajar con él en el Instituto de Estudios Avanzados. Le fue renovada la beca en el King's College, y retomó su vida normal en Cambridge. Escribió a su madre, para pedirle su osito de peluche, y asistió ansioso al estreno de *Blancanieves y los siete enanitos* en el

cine local. En especial, le chocó la escena en que la bruja malvada introduce una manzana colgada de un hilo en el puchero de veneno hirviendo y, después de ver la película, empezó a repetir su embrujo:

«Sumérase la manzana. Que la poción de la muerte dormida la impregne bien».

Los que escuchaban sus cánticos no tenían idea de que recientemente había pensado en suicidarse con una manzana. Por su orientación sexual, estaba acostumbrado a vivir en una mentira, pero no podía evitar esa forma de franqueza oblicua (en tanto la homosexualidad fuera ilegal, era fundamental ocultarla, a pesar de que era conocida entre unos pocos de sus colegas de Cambridge). La gente seguía pensando que Turing era una persona difícil de conocer; su carácter era, incluso entonces, un enigma. Sin embargo, sí que había una clave para el que se molestara en buscarla. Desgraciadamente, a partir de entonces, empezó a resultar cada vez más difícil saber dónde buscarla.

Así pues, Turing siguió manteniendo y, de hecho, insistía en mantener su posición arbitraria dentro del sistema. Nadie podía desaprobado a Turing (era miembro del King's College y un matemático brillante), pero tampoco podían aprobarlo (su madre, por ejemplo; o a causa de su homosexualidad, entonces ilegal).

Fue en torno a esta época cuando Turing conoció al filósofo austriaco Ludwig Wittgenstein y empezó a asistir a sus clases. Wittgenstein daba clases a unos pocos elegidos, que se sentaban en unas tumbonas, en sus desnudas habitaciones, y escuchaban, mientras él «pensaba en voz alta». Ello implicaba que hubiera frecuentes periodos de largo y angustioso silencio. Después, una pregunta, a la que seguía un salvaje interrogatorio, si alguien tenía la osadía de intentar responderla.

Wittgenstein daba clases sobre los fundamentos de las matemáticas, pero desde una perspectiva filosófica. Intentaba descubrir la naturaleza precisa de las matemáticas, es decir, qué eran exactamente, más que cómo funcionaban. Turing no tenía la capacidad filosófica de Wittgenstein (de hecho, ningún otro ser humano vivo poseía esa fuerza intimidatoria), pero era mejor matemático que él. En opinión de Turing, qué eran las matemáticas y para

qué servían eran asuntos inextricables. Se negó a dejarse intimidar por los amenazantes ataques de Wittgenstein.

En un determinado momento, Wittgenstein propuso que un sistema como el de las matemáticas o la lógica podría seguir siendo válido, pese a contener una contradicción. El propio Turing había demostrado que las matemáticas contenían inconsistencias, pero eso no era lo mismo que «contradicciones». Le explicó a Wittgenstein que, si se intenta construir un puente basándose en unas matemáticas que contuvieran una contradicción, el puente se caería. Wittgenstein insistió en que, por el contrario, la naturaleza de las matemáticas y su aplicación eran asuntos diferentes. Sin embargo, el trabajo de *Sobre los números computables* de Turing había demostrado lo profundo que era el vínculo entre las matemáticas puras y las matemáticas aplicadas. Había resuelto un problema teórico fundamental de las matemáticas proponiendo una «máquina» que, pese a ser teórica, no dejaba de ser una máquina, es decir, un aparato práctico que, en principio, podría construirse.

Resulta interesante el hecho de que la demostración de Turing de que todo sistema (como el matemático o lógico) contiene proposiciones irresolubles demostraba lo contrario que la filosofía inicial de Wittgenstein. A este respecto, Wittgenstein sostenía que cualquier problema, siempre que se expresara de una forma lógica adecuada, podía ser resuelto.

Turing se adentraría ahora en el terreno de las matemáticas aplicadas con vehemencia. En 1939, estalló la guerra contra la Alemania nazi y Turing fue destinado a tareas de inteligencia. Le encargaron dirigir un equipo encargado de descifrar códigos, en el edificio de inteligencia de Bletchley Park, a unos 100 km al norte de Londres. Este proyecto era alto secreto y estaba estrictamente vigilado por los militares.

El ejército no estaba preparado para lidiar con Turing. Aunque mantenía su extraño comportamiento infantil, su apariencia había evolucionado hacia una excentricidad madura propia de Cambridge (un estado muy próximo a la rareza clínica).

A primera vista, Turing parecía un hombre que hubiera pasado una mala noche. Llevaba el pelo desordenado, las uñas sucias, se sujetaba los pantalones con una vieja corbata del colegio y había dejado de afeitarse con



regularidad (a menudo se cortaba al afeitarse y se desmayaba al ver la sangre). Para aquel entonces, la voz de Turing se había convertido en una especie de tartamudeo agudo y propio de la clase alta, que en ocasiones se veía interrumpido por una molesta risa nerviosa (parecida, según se cuenta, al chirriante rebuzno de un burro). Cuando se perdía en sus pensamientos — algo que le ocurría con frecuencia—, solía acompañar las intensas operaciones mentales que realizaba de unos chillidos y graznidos igualmente intensos.

La actitud social de Turing era igualmente molesta. Obviaba a toda persona cuyo intelecto no le pareciera digno de consideración; por supuesto, esto incluía a todo el personal del ejército que dirigía el establecimiento. Para empeorar las cosas, solía trabajar durante largos periodos que duraban noches y días eternos, pero después el oficial encargado de la inspección podía encontrarlo jugando al ajedrez con el chico de los recados, o durmiendo siestas de tardes enteras, con la cabeza en el escritorio.

Turing no era, sencillamente, carne de la disciplina militar. Lo que es peor, parecía que no se tomaba en serio su trabajo. Y su trabajo, o el trabajo que se *suponía* que debía hacer (como le recordaba enérgicamente el oficial al mando), era en realidad muy serio.

De hecho, era más serio incluso de lo que el ejército se imaginaba. Los esfuerzos de Turing y de los diversos equipos de personajes de inteligencia superior que trabajaban en Bletchley cambiaron, casi con certeza, el rumbo de la guerra.

La historia de Bletchley empezó en 1938, cuando Robert Lewinski, un joven ingeniero polaco, se presentó en la embajada británica de Varsovia. Afirmaba haber trabajado en Alemania, en una fábrica de máquinas de señales cifradas. Lewinski había logrado memorizar los detalles de la máquina. Rápidamente, fue conducido de forma clandestina de Polonia a París, donde se encargó de la supervisión de la fabricación de una máquina. Los británicos habían oído hablar de estas máquinas, conocidas como «*Enigma*», utilizadas por el mando alemán para enviar órdenes cifradas a las fuerzas en campaña. Los comandantes de los submarinos alemanes (*U-boote*) también podían emplearlas para identificar su posición, para poder ser

enviados hacia los convoyes enemigos más cercanos localizados.

El *Enigma* era sorprendentemente fácil de utilizar, aunque aparentemente su sistema de códigos era imposible de descifrar. Básicamente, el sistema consistía en dos máquinas. En la máquina emisora se configuraba una clave y el mensaje, sin cifrar, simplemente se introducía en la máquina. Tres (o más) brazos rotores eléctricos, dependiendo de la clave, desordenaban automáticamente el mensaje, y este era finalmente transmitido. En el otro extremo, se configuraba la máquina *Enigma* receptora con la misma clave y esta volvía a ordenar el mensaje y lo imprimía ya descodificado. Los rotores, que giraban de forma independiente permitían, literalmente, miles de millones de permutaciones, por lo que cualquier enemigo que lograra interceptar una transmisión codificada se enfrentaba a una tarea aparentemente imposible, si pretendía descifrar el código. Cada día se enviaban miles de mensajes, y la clave se cambiaba tres veces al día. Los alemanes tenían razones para creer que su sistema de comunicación era indescifrable.

Ahora, gracias a Lewinski, el personal del Servicio de Inteligencia británico que trabajaba en Bletchley sabía exactamente cómo se construía y cómo funcionaba una máquina *Enigma*. Pero eso no era suficiente. De hecho, quedaba mucho por hacer. Las dificultades generadas por la *Enigma* eran enormes. Cada vez que se pulsaba una letra, al mecanografiar un mensaje para introducirlo en la máquina, los rotores giraban. Así que, aunque se pulsara la misma letra varias veces seguidas, invariablemente produciría letras diferentes en la versión «desordenada». Para descifrar el código era necesario saber cuál era la clave definida en la máquina, ya que esta era la que controlaba la posición inicial de los rotores. Y, si la *Enigma* era de solo tres rotores, había un millón al cubo ( $10^{18}$ ) de claves posibles (los mensajes de alto secreto de la Luftwaffe se enviaban en máquinas *Enigma* de diez rotores).

Turing y su equipo (al que pronto se sumaron muchas de las mentes más brillantes matemáticas del país) se enfrentaban a una labor monumental. Debían buscar en la miríada de mensajes cifrados cualquier combinación, patrón o posibilidad que pudiera significar algo y después intentar reconstruir

la configuración de la clave.

Turing hizo una inmediata valoración de la situación muy en su estilo. El problema era sencillo, al menos en teoría. Este era un trabajo para una máquina Turing. La máquina descrita por Turing en su trabajo *Sobre los números computables* no era totalmente teórica. Turing había proyectado una máquina en la que las instrucciones se introducían en cinta de papel. La cinta estaba dividida en cuadrados que la máquina leería de uno en uno. En su forma más simple, cualquier problema podía reducirse a una serie de instrucciones en dígitos binarios (bits). Como Turing conjeturó correctamente, el problema que planteaba la *Enigma* no era un problema arbitrario. Esto quiere decir que era susceptible de ser resuelto: si se introducían las instrucciones apropiadas en una máquina Turing, esta daría con la solución. Pero eso estaba muy bien en teoría; la práctica era otra cosa.

Turing y su equipo se pusieron a construir una máquina electromagnética que pudiera funcionar a gran velocidad, buscando en los mensajes codificados del *Enigma* algún tipo de regularidad, característica recurrente o combinación que pudiera ser descifrada. (En ocasiones, como resultado de alguna acción del enemigo, encontraban la clave de algún mensaje anterior, obteniendo así más datos acerca de cómo funcionaba la *Enigma*, aunque solo se tratara de claves ya obsoletas). La máquina descodificadora de Turing se conocía como *Colossus*; eran tan grandes las dificultades a las que se enfrentaba el equipo de Bletchley, que se construyeron al menos diez versiones de la máquina.

El primer *Colossus* empezó a funcionar en diciembre de 1943. Los detalles de esta máquina son imprecisos, debido a la obsesión por el secreto de las esferas militares y el Gobierno británico. (De hecho, hasta hace poco, algunos códigos empleados en las guerras napoleónicas seguían siendo información clasificada). Al parecer, el *Colossus* utilizaba 2400 tubos de vacío, que realizaban cálculos en el sistema binario. No contenía un programa almacenado, aunque sí realizaba funciones semejantes a las de un ordenador. Así pues, ¿se puede decir que esta máquina de Turing era efectivamente una máquina de Turing, tal como se había ideado? Sigue habiendo dudas al respecto. Sin embargo, el *Colossus* se considera en general como el antecesor

del ordenador digital electromagnético.

Al margen de lo que fuera, el *Colossus* significó un enorme avance para la tecnología. La potencia combinada de sus cinco procesadores podía leer 25 000 caracteres en un segundo. Sin embargo, aún no era suficiente. Los submarinos alemanes estaban hundiendo barcos de la flota aliada en el Atlántico a un ritmo alarmante. Nada se podía hacer: todavía se necesitaban varios días para descifrar los mensajes que los *Enigma* enviaban desde y hacia los submarinos. Trabajando día y noche se consiguió reducir gradualmente este margen. Llegado un determinado momento, Gran Bretaña solo contaba con reservas de alimentos para una semana. Por fin, el *Colossus* y el equipo de Bletchley estaban logrando descifrar los códigos en horas y luego en minutos. Finalmente, se logró determinar la posición de todos los submarinos alemanes en el Atlántico, y la pérdida de barcos de los convoyes aliados disminuyó radicalmente.

Inmediatamente, los alemanes empezaron a sospechar. Pese a sus sospechas, sin embargo, seguían convencidos de que su código *Enigma* era indescifrable. Los británicos debían de estar recibiendo información de una red de espías bien situados. No era necesario, por tanto, inventar una máquina codificadora más avanzada; la Gestapo pasó a la acción y empezó a realizar detenciones.

Mientras tanto, Turing seguía comportándose como siempre, arreglándose ocasionalmente para visitar a su madre (que estaba muy desilusionada, porque sus labores militares no lo obligaban a raparse el pelo). Aparentemente, el aspecto de Turing era un indicativo de sus profundas dudas psicológicas. Seguía haciendo comentarios abiertos sobre la homosexualidad delante de sus colegas (aunque de ahí no pasaba), pero al mismo tiempo empezó a mantener una relación con una de las criptoanalistas (quien, por cierto, le enseñó a tejer guantes). Su relación duró seis meses, al cabo de los cuales Turing tuvo que admitir su futilidad.

A un periodo de relativa elegancia en el vestir le siguió un ataque de indiferencia. Sin embargo, y a pesar de su apariencia desaseada y a las largas horas de trabajo, Turing seguía estando en muy buena forma. Varias veces por semana se iba a correr por campos y bosques. Los lugareños lo miraban

perplejos, cuando cogía un puñado de hierba al pasar y se iba masticándolo mientras corría. Esta era la forma de Turing de compensar las deficiencias vitamínicas de los tiempos de guerra (antes solía comer una manzana antes de dormirse).

Esta tendencia a la autosuficiencia idiosincrásica se extendió a terrenos inesperados. Cuando estalló la guerra, Turing estaba convencido de que Gran Bretaña sería invadida. Había convertido sus ahorros en lingotes de plata y los había enterrado secretamente en los bosques cercanos a Bletchley Park. Después, había cifrado su ubicación y la había memorizado. (Desgraciadamente, este código sí logró vencer a Turing. Tras la guerra, no logró recordarlo y nunca pudo recuperar sus lingotes de plata, a pesar de realizar varias «cazas del tesoro» sistemáticas y exhaustivas, y de que llegara a inventar su propio detector de metales).

En Bletchley ya no se dedicaban únicamente a localizar submarinos. Rápidamente, casi todas las comunicaciones alemanas se convirtieron en un libro abierto para ellos. Este trabajo tenía tal importancia que Turing llegó a cruzar el Atlántico para contactar con los americanos. En el viaje se encontró con Von Neumann, que también había empezado a poner en práctica las ideas de *Sobre los números computables*. En el departamento de ingeniería de la Universidad de Pennsylvania, los estadounidenses habían empezado a trabajar en el *ENIAC* (Dispositivo electrónico de integración y cálculo numérico). Esta máquina era aún más colosal que el *Colossus* y contenía la asombrosa cantidad de 19 000 válvulas. Sin embargo, el ENIAC no estaría listo hasta después de la guerra. (Por otro lado, los alemanes, sin que los aliados lo supieran, estaban también trabajando en este campo. En 1943, Konrad Zuse había creado la primera calculadora multiusos controlada por un programa, que se utilizaba para el análisis en la fabricación de bombas volantes. Sin embargo, el laboratorio subterráneo de Zuse, situado en Berlín, fue bombardeado un año después).

Cuando la guerra terminó, Turing estaba trabajando en Hanslope Park, muy cerca de Bletchley, en un proyecto de registros de voz denominado *Delilah* (por Dalila, la figura bíblica cuya engañosa voz había causado estragos en Sansón). Para entonces, el trabajo que Turing había realizado con

el *Colossus* había aumentado considerablemente su comprensión de la maquinaria electrónica. Había empezado a reflexionar sobre cómo podrían las máquinas imitar el funcionamiento de la mente humana.

En 1945, Turing se unió al recién fundado Laboratorio Nacional de Física, en Teddington, a las afueras de Londres. Aquí, encabezaba el proyecto para la construcción de una máquina de cálculo automático (conocida como ACE). Turing intentaba diseñar un ordenador electrónico digital con un programa interno. El ACE se benefició enormemente de la experiencia de Turing en la fabricación y el funcionamiento del *Colossus*, pero su punto fuerte seguía siendo meramente teórico. Al igual que la máquina Turing universal propuesta en *Sobre los números computables*, el ACE debería seguir un «diseño lógico» global, que incorporaría muchos procedimientos lógicos complejos. Desgraciadamente, estos procedimientos dieron lugar a una serie de dificultades técnicas, que no interesaban tanto a Turing. Su diseño se adelantaba mucho a su tiempo: era muy superior al ENIAC (la primera de las denominadas «máquinas Von Neumann»), que los estadounidenses estaban a punto de terminar, y estaba más avanzado que cualquier otro proyecto que se estuviera realizando en Inglaterra. Sin embargo, el ACE no tuvo que enfrentarse solo a problemas técnicos. Los problemas más importantes se debieron a la falta de fondos y a la política científica.

A diferencia de otros campos de investigación científica, la política científica florece gracias a la falta de fondos. Entre los racionamientos de la posguerra en Gran Bretaña (incluso el pan estaba racionado), las políticas científicas lograron un avance histórico: entraron en su era bizantina. Tales complejidades y sutilezas estaban totalmente al margen de los intereses de un simple mago de las matemáticas como era Turing. Ni en sus mejores momentos había sido un hombre diplomático y así Turing se encontró con que sus solicitudes de fondos eran siempre rechazadas.

La razón que se suele alegar para ello es que Turing tenía un carácter antipático y su aspecto descuidado e infantil hacían que la gente no lo tomara muy en serio. (Cuando asistía, por ejemplo, a alguna reunión de un departamento de Whitehall prefería cubrir los cerca de 15 kilómetros de

distancia corriendo, atravesando Londres, en lugar de utilizar el transporte público. Cualquiera que haya estado en la meta de una carrera a campo traviesa, puede imaginarse el efecto que le causaba la llegada de Turing a un comité de funcionarios). Sin embargo, la falta de don de gentes de Turing — por llamarlo de forma elegante— no era la única razón. Su proyecto era el mejor, pero otros eran mejores proyectando intrigas.

Para 1947, Turing se había percatado de que así no iba a ningún lado. La versión oficial es que dimitió de su puesto en el Laboratorio Nacional de Física y dejó que otros concluyeran el proyecto ACE. Lo que no está muy claro es si saltó él solo o si lo empujaron.

Irónicamente, esto es lo mejor que le podía haber ocurrido. Volvió a Cambridge, donde enseguida se embarcó en un trabajo revolucionario sobre la teoría informática. A pesar de su implicación en el proyecto *Colossus* y de haber sentado las bases para el ACE (que finalmente se construyó, con éxito), y su posterior participación en el desarrollo del ordenador, es por su trabajo teórico por lo que se le recuerda.

Como ya hemos visto, Turing había proyectado desde el principio que la máquina Turing realizara funciones propias de la mente humana. Pero ¿era capaz una máquina de equipararse a una mente humana? Lo que Turing propuso y analizó entonces fue el concepto de «maquinaria inteligente». Las objeciones morales, humanas y religiosas fueron descartadas con su tacto característico: «Como son puramente emocionales, ni siquiera hace falta realmente refutarlas». Las objeciones científicas y filosóficas eran más serias. Una máquina capaz de disponer de inteligencia implicaba un enfoque mecánico de la inteligencia, que a su vez implicaba un determinismo. Sin embargo, aparentemente, la inteligencia humana incluía un elemento de libre albedrío.

La tediosa y fútil discusión filosófica entre el libre albedrío y el determinismo no ha lugar aquí. El argumento de Turing es que la mente humana parece, desde fuera, tener capacidad de libre albedrío. Se *comporta* como si la tuviera.

Así pues, las operaciones de la inteligencia no son meramente mecánicas, pero Turing sugería que podían ser realizadas por una máquina. En esto...

¿no hay algo ilógico? En el sentido verbal, tal vez. Sin embargo, la experiencia de Turing, adquirida en su trabajo durante la guerra en los proyectos *Colossus* y *Delilah*, indicaba lo contrario. Estas dos máquinas eran marcadamente deterministas, pero se había descubierto que también eran capaces de desarrollar un comportamiento aleatorio. (Por algo el *Colossus* había necesitado un equipo de docenas de «cuidadores» para llevarlo por el camino correcto).

En un determinado nivel, estos ordenadores primitivos habían sido totalmente deterministas. Sin embargo, en otro nivel, habían mostrado un claro comportamiento aleatorio, que parecía imitar el libre albedrío. Había una grieta en la armadura: una grieta diminuta, pero real.

El argumento fundamental de Turing es que las máquinas eran capaces de aprender. Así, podrían ampliar sus operaciones más allá de lo meramente mecánico. Se podía enseñar a una máquina a mejorar su comportamiento, hasta que llegara a mostrar «inteligencia».

En este punto, Turing superó otra de las objeciones potenciales, que podría haber limitado su tesis. Una máquina podrá mostrar inteligencia, pero solo será el reflejo de la inteligencia de su creador. Turing no estaba de acuerdo. Utilizaba la analogía del maestro y el pupilo. El alumno podría superar en brillantez a su maestro, desarrollando una información cualitativamente superior, aunque utilice solo la inteligencia que le ha programado su maestro. Turing llevó más lejos su argumentación. Era posible crear una máquina que jugara al ajedrez (siguiendo las reglas que se introdujeran en ella). Sin embargo «jugar contra una máquina así da una impresión muy real de estar enfrentándose intelectualmente a algo vivo». Como el ordenador podía aprender, su comportamiento superaba el determinismo mecánico y mostraba un elemento de libertad que se asemejaba al de una inteligencia viva (lo cual no quería decir, necesariamente, una inteligencia humana).

Turing estaba planteando preguntas que se habían presentado desde los orígenes de la filosofía: ¿qué significa ser humano?, ¿qué es exactamente la inteligencia humana? Pero enfocaba estas preguntas desde una perspectiva original: ¿podía una máquina adquirir estas cualidades?, ¿cómo distinguimos



una inteligencia humana de la inteligencia de una máquina?

Turing estaba reflexionando en un plano que trascendía las matemáticas, los números racionales e incluso los ordenadores. De hecho, se involucró tanto en sus propios procesos de reflexión, que acabó mirando el mundo como si él mismo fuera un ordenador. A medida que exploraba las posibilidades del pensamiento, se fue adueñando del mecanismo del ordenador como su medio de pensamiento. ¿Qué es la inteligencia?

Hasta cierto punto, esta identificación con la máquina empezó a impregnar el resto de su vida. El hecho de verse a sí mismo como una máquina le proporcionó un enorme alivio psicológico para la continua confusión de su vida interior.

El regreso de Turing a Cambridge fue lo mejor que le pudo ocurrir, tanto profesional como personalmente. Durante varios periodos en la vida de Turing, estas dos categorías fueron inseparables. Aquí, en Cambridge, ya no lo eran. Puede que Turing se haya identificado psicológicamente con un ordenador, pero su comportamiento no lo dejaba traslucir.

Turing tenía ya 35 años, aunque seguía pareciendo unos diez años más joven. En el King's College donde vivía, su intelecto era considerado (por los pocos que le entendían) como uno de los mejores de Cambridge. Sin embargo, desgraciadamente, su comportamiento estaba muy por debajo de su intelecto. Turing adquirió la costumbre de pasearse por el patio de su facultad, en busca de jovencitos a los que invitar a tomar un té en sus habitaciones. Por las tardes, solía ir a visitar inesperadamente a otros jóvenes. Solía decir: «A veces estás hablando con alguien y sabes que, en tres cuartos de hora, estarás pasando una noche maravillosa o te echarán a patadas del cuarto». El hecho de identificarse con un ordenador aparentemente lo liberó de todo recelo que le impidiera manifestar su sexualidad.

Turing debió de ser una compañía peligrosa durante este tiempo. Sin embargo, afortunadamente para todos los implicados, la situación no se prolongó. Antes de que las autoridades de la universidad pudieran considerar que su comportamiento superaba los límites de la excentricidad aceptable, Turing encontró un novio estable: Neville Johnson. Este joven había obtenido una beca del instituto Sunderland y cursaba su tercer año de matemáticas.

Neville ya había realizado sus dos años de servicio en el ejército, y a Turing le atrajo su actitud un tanto tosca, pero resuelta. Al parecer, Neville Johnson fue uno de los pocos que llegaron a atravesar el caparazón de Turing, su defensa frente al mundo. Un día, mientras estaban juntos en la cama, Turing confesó: «Tengo una relación más estrecha con esta cama que con otras personas». Sin embargo, pese al profundo afecto que sentía por Neville, Turing seguía rondando ocasionalmente por el patio. A estas alturas, una completa rendición al amor debía de ser ya imposible. Un ordenador podía tener inteligencia, pero que tuviera emociones seguía siendo una cuestión teórica.

Entre tanto, se realizaban grandes avances en el terreno práctico. En Cambridge se estaba construyendo una máquina de computación llamada EDSAC (ordenador automático de almacenamiento electrónico retardado) pero, sorprendentemente, Turing decidió evitar todo contacto con el equipo responsable. En lugar de eso, después de un año en Cambridge aceptó el puesto de director adjunto del laboratorio de ordenadores en la Universidad de Manchester. En este laboratorio se estaba construyendo la Máquina Digital Automática de Manchester (conocida popularmente como MADAM).

El 21 de junio de 1948 el MADAM se convirtió en el primer ordenador electrónico con un programa almacenado que funcionara, descomponiendo un número en sus factores primos (por ejemplo,  $4620 = 2^2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11$ ).

El MADAM cumplía todas las especificaciones teóricas de una máquina Turing (tal y como se describía en *Sobre los números computables*), aunque no había sido construido según el diseño de Turing. Sin embargo, Turing se sumó con entusiasmo a la ampliación de sus capacidades originales. Diseñó unos circuitos para los equipos físicos de entrada y salida, y llegó incluso a obtener de Bletchley un teletipo de una máquina de códigos alemana. Turing se encontró pronto dedicando un gran número de horas al análisis matemático, aunque frecuentemente acababa resolviendo los problemas en breves momentos de iluminación intuitiva.

El trabajo en el MADAM no era solo intelectual y técnico. Hacer funcionar este monstruo en continuo crecimiento era una tarea hercúlea. El ayudante de Turing describía el proceso: «En la sala de la máquina, se

avisaba al ingeniero y se utilizaban los interruptores manuales para introducir el programa de entrada; una vez hecho esto, era necesario correr escaleras arriba y poner la cinta en el lector y volver luego a la sala de la máquina». Si la máquina empezaba a leer la cinta y a seguir correctamente las instrucciones, el operario tenía que llamar al ingeniero para que conectara la corriente que activaba la función de impresión. «En cuanto el patrón del monitor indicaba que había finalizado la entrada, el ingeniero desconectaba la corriente de impresión. Solían hacer falta varios intentos para introducir la cinta, y cada intento significaba un nuevo viaje a la sala de la cinta». Afortunadamente, Turing seguía estando en forma.

A pesar de tales dificultades atléticas, el MADAM pronto estuvo listo para acometer tareas más complejas. Sus tubos podían almacenar hasta 128 palabras (grupos de dígitos binarios que contenían instrucciones que la máquina podía utilizar) de 40 bits. Este no fue solo el primer ordenador operativo, sino también el primero utilizado para un objetivo constructivo a gran escala. Más adelante fue utilizado para calcular el diseño de la ruta marítima de St. Lawrence, una de las maravillas de la ingeniería del siglo XX.

Sin embargo, las tareas iniciales del MADAM fueron algo menos constructivas. Turing estaba más interesado en enseñarle a jugar al ajedrez y pasaba largas horas dedicado a ello, buscando la forma de mejorar su estrategia en el juego. Otros miembros del equipo no estaban igualmente conformes viendo al director adjunto del proyecto y al MADAM enzarzados en un combate intelectual y les hizo aún menos gracia su siguiente hazaña. Turing programó el MADAM para que escribiera una carta de amor. Esta era la primera vez que se intentaba algo así, y la máquina escribió una misiva típica de la extraña pasión de alguien poco acostumbrado a expresar tales emociones:

Querido cariñito:

Eres mi ávido sentimiento amigo. Mi afecto se asocia extrañamente a tu deseo pasional.

Mi deseo ansia tu corazón. Eres mi soñadora compasión: mi tierno deseo.

Hermosamente tuyo,  
M.U.C.

En este caso, el MADAM prefirió definirse como «M.U.C», el Ordenador de la Universidad de Manchester, elección cuyas asociaciones podrían haber resultado muy interesantes para Sigmund Freud<sup>[1]</sup>.

Las actividades de Turing eran igualmente interesantes, desde el punto de vista psicológico. No se había enamorado realmente desde su pasión escolar por Christopher Morcom. Desde luego, la prematura muerte de Christopher influyó en su incapacidad para comprometerse plenamente y de forma duradera con nadie, aunque tampoco se puede subestimar la importancia del peligro que implicaba mantener una relación amorosa homosexual en la Inglaterra de entonces. De cualquier forma, Turing se daba cuenta de su fracaso y este lo atormentaba. (Su confesión, a Neville Johnson, de cómo recordaba su pasado —«tengo que pensar en la persona de la que estaba *enamorado* en ese momento»— no hace sino reforzar esta idea. Sus relaciones amorosas se veían frustradas, o culminaban en una breve pero insatisfactoria conflagración).

A la luz de la identificación de Turing con un ordenador, su proyecto de programar el MADAM para que redactara cartas de amor adquiere visos de patetismo. Este no fue un acto inconsciente; Turing sabía lo que estaba haciendo, aunque los demás no se dieran cuenta. A estas alturas, se había definido abiertamente, aunque solo de forma casual, en cuanto a sus preferencias homosexuales. Sin embargo, precisamente por eso sus colegas desconocían su secreto sufrimiento. Puede haber resuelto el problema de la *Enigma*, pero seguía sin resolver el problema de su propio enigma.

Sin embargo, incluso esto seguía siendo un asunto secundario, reprimido u obviado. Turing continuaba sumergiéndose en su trabajo (el trabajo y la carrera de fondo seguía siendo su bromuro). Las partidas de ajedrez y las cartas de amor del MADAM eran fundamentales dentro del actual interés primordial de Turing: la «maquinaria inteligente» o, como se la conoce generalmente, la inteligencia artificial.

Las preguntas provocativas que Turing planteaba (y con las que

frecuentemente se identificaba) sentaron las bases de este campo. Estas preguntas eran profundamente filosóficas, sin ser confusas, y al mismo tiempo seguían siendo estrictamente científicas, sin dar lugar a esos «milagros» aislados hacia los que la ciencia experimental puede degenerar con tanta facilidad. Como ocurre con la filosofía, pero no con una buena parte de la ciencia moderna, este era un campo del conocimiento en el cual se podía vivir, ya que esclarecía la condición humana.

Turing planteó sus ideas en una serie de trabajos, de los cuales el más importante fue *Computing Machinery and Intelligence* («Maquinaria de computación e inteligencia»), publicado en 1950. En él, Turing insistía en que se podía enseñar a los ordenadores a pensar por sí mismos; eran capaces de generar un pensamiento original. De forma muy esclarecedora, tachaba de «sentimental» la generalizada oposición a esta noción. Para que los procesos de un ordenador pudieran asemejarse a los caprichos de la inteligencia humana, Turing proponía la incorporación de un elemento aleatorio, por ejemplo una rueda de ruleta.

Sin embargo, consideraba que muchas de las objeciones filosóficas eran tediosas y fútiles. No quería en modo alguno que la cuestión de la inteligencia de los ordenadores quedara atascada en preguntas sobre el libre albedrío, la ética, la definición de la vida, etc. Así, eludió brillantemente estos problemas. Había una forma de saber si una máquina era inteligente o no: colocarla tras una pantalla y dejar que un ser humano le hiciera preguntas. La persona podría decidir entonces, basándose en respuestas escritas, si estaba tratando con un ser inteligente o una simple máquina. ¿Podría una máquina engañar a un ser humano para que pensara que era humana? Este era el «juego de la imitación» que Turing proponía (conocido actualmente como el «test de Turing»).

Turing demostró cómo un interrogador hábil podía poner a prueba la máquina, obteniendo de ella decisiones y juicios sutiles y, posiblemente, hasta respuestas emocionales. O al menos, eso parecería en las respuestas escritas. Sin embargo, Turing no esquivó todas las objeciones filosóficas (simplemente, sorteó las tediosas e improductivas). Su propio argumento filosófico era incontestable. Insistía en que el «juego de la imitación» debía

aceptarse como un criterio básico. ¿Por qué? Porque así es como nosotros reaccionamos *entre nosotros*. No hay ninguna forma inmediata de saber si otra persona posee inteligencia o no. Solamente podemos inferir que son seres pensantes y conscientes comparándolos con nosotros mismos. Turing pensaba que no había ninguna razón por la que no pudiéramos actuar de la misma forma con los ordenadores. Su pregunta era: «¿Por qué hay que tratarme a mí de forma distinta a un ordenador?». (El hecho de que esta pregunta la planteara una persona que se veía a sí mismo como un ordenador presenta una serie de cuestiones interesantes. ¿Hay alguien humano escuchándome?).

Adoptando, magnánimamente, la perspectiva humana, Turing llegó a sugerir una serie de objeciones a su argumento. La más seria de estas se conoce como la «objeción de Lady Lovelace», por la colega de Babbage, que fue la primera en plantearla. Lady Lovelace estaba convencida de que los ordenadores eran incapaces de producir un pensamiento original, porque solo pueden hacer lo que se les dice. Dicho de otro modo, solo pueden funcionar dentro de los límites que se les hayan programado.

La respuesta de Turing era tan calculadora como un ordenador: cuando programamos un ordenador, solo tenemos una vaga idea general de lo que le hemos pedido que haga. Desde luego, no hemos pensado en todas las implicaciones de la tarea.

Por analogía, hemos visto que las matemáticas fueron entendidas como una serie de números y procedimientos sencillos, como los que se podían introducir en un ordenador. Sin embargo, las implicaciones de este sistema han demostrado que no son en absoluto sencillas. De hecho, no solo han demostrado ser totalmente inagotables, sino que también han desarrollado su propia inconsistencia. Como apuntó Ehrensvar: «Hay momentos en que hasta las matemáticas parecen tener cerebro propio».

Finalmente, esta forma de pensar llevó a Turing más allá del campo de los ordenadores, hacia la morfogénesis (la evolución mediante el desarrollo de patrones en los organismos). Turing se percató de que, al igual que en matemáticas, cualquier sistema simple crece en complejidad. Una estructura simétrica uniforme se desarrolla a través de la difusión de su forma en una

estructura asimétrica con un patrón propio. En 1952, Turing publicó su primer trabajo sobre este tema: *The Chemical Basis of Morphogenesis* («La base química de la morfogénesis»).

Este trabajo plantea la siguiente cuestión: ¿cómo crecen las cosas? ¿cómo *adquiere forma* la materia? (el término «morfogénesis» proviene de las palabras «forma» y «origen», en griego antiguo). Por mera coincidencia, en Cambridge, Crick y Watson estaban intentando resolver el mismo problema desde una perspectiva microbiológica. Durante el proceso, acabaron descubriendo la doble hélice del ADN. Sin embargo, Turing enfocaba el problema desde una perspectiva matemática. ¿Cómo llegó a evolucionar el caldo primigenio, con su simpleza química relativa hasta convertirse en organismos de una complejidad tan enorme? Crick y Watson pretendían encontrar una explicación sobre el *cómo* de este hecho. Turing buscaba una respuesta para el *cómo* y el *porqué*. Perseguía una respuesta matemática que pudiera explicar el patrón de la vida misma en términos matemáticos. (Si Einstein podía explicar el funcionamiento último del universo mediante fórmulas matemáticas, Turing podía describir la vida misma de igual forma. Desde luego, a Turing no le faltaba ambición).

¿Cómo contenía el caldo químico primigenio la información que le permitía desarrollar esa complejidad? (aquí resulta evidente el paralelismo con la pregunta de cómo un ordenador podía desarrollar inteligencia). Pero ¿qué tenían que ver estos problemas con las matemáticas? Varios ejemplos lo muestran. Tomemos, por ejemplo, una solución química inorgánica saturada, en la que se están formando cristales —o *creciendo*, porque parecen desarrollarse de una forma «orgánica» asimétrica y misteriosa. En el plano químico, no hay explicación para esta falta de simetría. Sin embargo, en el plano molecular, los movimientos y las colisiones individuales de las moléculas que hay en la solución son aleatorios. Por tanto, resulta poco sorprendente que los cristales adquieran formas asimétricas. En cierto modo, la complejidad se *va creando* a medida que se produce.

Un ejemplo significativo de este proceso se aprecia en la música moderna. El compositor húngaro György Ligeti ha «escrito» una pieza para 100 metrónomos, todos fijados a diferentes velocidades. Los metrónomos

empiezan a funcionar al mismo tiempo, y después pierden la sincronía. Esto suena como una receta para el caos, pero lo que en realidad se desarrolla es una extraña «música virtual», que en cierto modo *está siendo creada por los propios metrónomos*.

Turing estaba convencido de que en la naturaleza se producían desarrollos matemáticos similares. Las flores, plantas y células que estudió mostraban y desarrollaban, sin excepción, unos patrones, muchos de los cuales presentaban sorprendentes secuencias matemáticas.

Por ejemplo, tanto las espirales de una piña como las semillas cubiertas de un girasol recuerdan la secuencia Fibonacci. Esta es la serie 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21..., en que cada número es la suma de los dos anteriores, las misteriosas y fascinantes propiedades de los números Fibonacci se reflejan en las matemáticas (por ejemplo, en los triángulos de Pitágoras, los números primos y la proporción Áurea) y en la naturaleza (por ejemplo, las piñas, el crecimiento de las hojas y las distancias de los planetas respecto al Sol muestran características Fibonacci).

Los patrones de la naturaleza eran profundamente matemáticos. ¿Era posible que algo en la naturaleza de las *matemáticas* controlara el desarrollo de tal complejidad?

Esas eran las preguntas que ocupaban a Turing a principios de la década de 1950. Siguió utilizando el MADAM en estas complejas investigaciones, aunque había sido relegado en buena medida de sus tareas sobre el desarrollo práctico del lado informático. Se esperaba que el MADAM moderno hiciera algo más que escribir cartas de amor.

Para entonces, Turing había comprado una casa en Wilmslow, un agradable barrio residencial en la periferia de Manchester y aparentemente era una figura de cierta eminencia. En 1951 había sido elegido miembro de la Royal Society, a la temprana edad de 39 años. Una de las personas que lo habían propuesto era el filósofo Bertrand Russell, uno de los primeros que reconoció el profundo significado *filosófico* del trabajo de Turing. (De hecho, en este sentido queda aún mucho por explorar, casi medio siglo después).

Sin embargo, en el caso de Turing la respetabilidad había sido siempre apenas una fina cubierta. Seguía trabajando durante largas horas (solía



trabajar jornadas de 12 horas en el laboratorio), y «reservaba» el MADAM para utilizarlo las noches de los martes y jueves. Aún así, le quedaban otras noches, largas y solitarias, en que el MADAM no podía distraerlo por lo que, de vez en cuando, merodeaba en busca de jóvenes homosexuales.

Turing entabló algo parecido a una amistad con uno de sus amantes, Arnold Murray, un joven rubio y de ojos azules de Manchester. Un fin de semana, Alan dejó a Arnold solo en su casa y al volver descubrió que le habían robado. Faltaban algunas cosas menudas, incluyendo una camisa y unos pares de zapatos, algunos cuchillos de plata y una brújula. Turing se sintió herido y comunicó el robo a la policía.

Esto acabó siendo un error fatal. El detective a cargo de la investigación pronto descubrió el elemento homosexual del caso y en febrero de 1952, Turing fue detenido, por los cargos de «indecencia grave».

Turing tenía un carácter firme, pero la deshonra pública le afectó, inevitablemente. Se vio obligado a ir al sur, a advertir a su madre del juicio que se avecinaba y de que era posible que se hiciera público. Hodges, su biógrafo, afirma: «La señora Turing no entendía muy bien la importancia de lo ocurrido, pero entendía lo suficiente para que tuviera con su hijo una desagradable discusión, en la que no acababan de entenderse».

Afortunadamente, no se hizo una gran publicidad del juicio en los periódicos (hubo un breve en la edición de la zona norte de *News of the World*, con el titular «El acusado tenía un gran cerebro»). El caso, casi con certeza, fue acallado por las autoridades. Tal vez esto fuera lo mínimo que podían hacer por un hombre que había desempeñado un papel fundamental en la victoria de la segunda guerra mundial. Cabe pensar que si Turing hubiera sido un hombre más atractivo y hubiera querido participar en el juego social, todo el asunto habría quedado olvidado. Después de todo, no se puede decir que la homosexualidad no fuera común en el *establishment* británico. Pero claro, Turing no era en absoluto un miembro del *establishment*.

Al final, Turing se declaró culpable y tuvo suerte, ya que no fue condenado a prisión. En lugar de eso, quedó en libertad condicional, con la condición de que se sometiera a un tratamiento hormonal para «curarlo» de su homosexualidad.

Este absurdo tratamiento con drogas tenía efectos secundarios grotescos. Para empezar, lo volvió impotente y, a un compañero al que visitó en Cambridge le confesó: «Me están creciendo *pechos*».

Turing intentó volcarse nuevamente en su trabajo. Ahora intentaba resolver las preguntas que había planteado en «La base química de la morfogénesis». Sin embargo, encontró un obstáculo en las pequeñas variaciones de los sistemas de ecuaciones diferenciales de primer orden que parecían originar la asimetría. Aparentemente, estas explicaban la teoría química de la morfogénesis cuando la complejidad se creaba a sí misma. Evidentemente, que la complejidad se creara a sí misma era un asunto complejo.

Turing pronto descubrió que esto era tan desalentador como su investigación doctoral sobre los números primos, en relación con la Hipótesis de Riemann. Al igual que antes, las primeras fuentes de inspiración se secaron, convirtiéndose en un desierto de cálculos. Y al igual que antes, reapareció la posibilidad del suicidio.

Esta vez, la idea resultaba más atractiva. Su trabajo se había secado y había sido excluido de toda labor creativa con los ordenadores, a pesar de sus excelentes cualificaciones. Su identidad sexual estaba virtualmente anulada, y el excepcional tono físico que había mantenido, como atleta de fondo, había quedado convertido en una mera caricatura gracias a los medicamentos.

Así llegó la última representación de una escena que había ensayado al menos en una oportunidad. En la noche del 7 de junio de 1954, Alan Turing se tumbó y comió su habitual manzana nocturna, tratada en esta ocasión con cianuro.

## Epílogo

Tras su muerte, Turing fue condenado al olvido. Su trabajo en el *Colossus* durante la guerra siguió siendo secreto oficial y su exclusión final del trabajo creativo práctico en los primeros ordenadores británicos hizo que los vencedores se quedaran con el botín de guerra, y solo los *cognoscenti* de la materia supieron apreciar el brillante trabajo teórico que Turing realizó.

Y así podían haber quedado las cosas, si en 1985 Andrew Hodges no hubiera escrito una brillante y completa biografía de Turing. Esta le brindó a Turing el reconocimiento general del público que se merecía, además de desvelar un infame escándalo sexual (en este caso, perpetrado por unas autoridades ingratas). Aquellos que han escrito posteriormente sobre Turing tienen una gran deuda con Hodges. Sin embargo, y a pesar de las investigaciones exhaustivas, Turing siguió siendo para Hodges un misterio, como lo fuera para sus contemporáneos. A pesar de ello, los logros de Turing hablan por sí solos. Cada vez más personas lo reconocen como el pionero de la teoría informática, un padre fundador del ordenador moderno y, de forma casi accidental, el hombre que ganó la guerra.

Las cuestiones de la inteligencia artificial y la morfogénesis, que él fuera el primero en plantear en un sentido amplio, siguen siendo preguntas fundamentales y sin respuesta en nuestros días.

## Fechas relevantes

**400 a. de C.** — Formas primitivas de ábaco, en China y Babilonia.

**Siglo I a. de C.** — Solo se ha encontrado una calculadora de este periodo, y sigue siendo hoy un misterio.

**1623** — Schickard empieza a fabricar su «reloj de cálculo» en Tübingen. Se lo reconoce como el primer ordenador digital.

**1630** — Oughtred inventa la regla de cálculo, que muchos consideran el primer ordenador analógico.

**1642** — Pascal inventa una máquina de cálculo superior, capaz de trabajar con cifras de hasta 8 dígitos.

**1673** — Leibniz inventa una máquina de calcular más simple y eficaz, capaz de calcular raíces cuadradas.

**principios del siglo XIX** — El empresario de textiles Jacquard crea unas tarjetas para controlar los patrones de tejido en sus telares: es la primera vez que se programa una máquina.

**1823** — Babbage empieza a trabajar en su motor diferencial nº 1.

**1854** — Boole publica su trabajo sobre la lógica binaria.

**1896** — Hollerith utiliza su máquina de lectura de tarjetas para el censo de Estados Unidos.

**1937** — Turing publica *Sobre los números computables*, donde esboza los límites teóricos de cualquier ordenador futuro.

**1948** — El *MADAM* se convierte en el primer ordenador digital electrónico con un programa integrado que funciona.

## Otras lecturas recomendadas

Alan Hodges, *Alan Turing: the enigma* (Vintage). Constituye la primera biografía brillante, de 580 páginas. Sigue siendo el trabajo más importante sobre su vida.

J. David Bolter, *Turing's Man: Western Culture in the Computer Age* (Duckworth). Inteligencia artificial, cómo funcionan los ordenadores modernos y sus implicaciones sociales.

Joel Shurking, *Engines of the Mind* (Norton). La evolución del ordenador desde las unidades de proceso a los microprocesadores en un lenguaje para los legos en informática.

PAUL STRATHERN (Londres, Reino Unido, 1940). Estudió Física y Química y Matemáticas en el Trinity College de Dublín antes de dedicarse a la Filosofía. Sus series *Filósofos en 90 minutos* y *Los científicos y sus descubrimientos* han sido traducidas a una docena de idiomas. En la actualidad es lector en la Kingston University, donde ha sido también profesor de matemáticas, filosofía y poesía moderna italiana. Una de sus obras de mayor éxito es *Los Médici: padrinos del Renacimiento*, y también ha escrito varias novelas, biografías y libros de viajes.

# Notas

[1] Fonéticamente, en inglés estas siglas podrían confundirse con *muck*, que equivale a *fuck*, forma popular para referirse al acto sexual [N. de la T.]. <<