

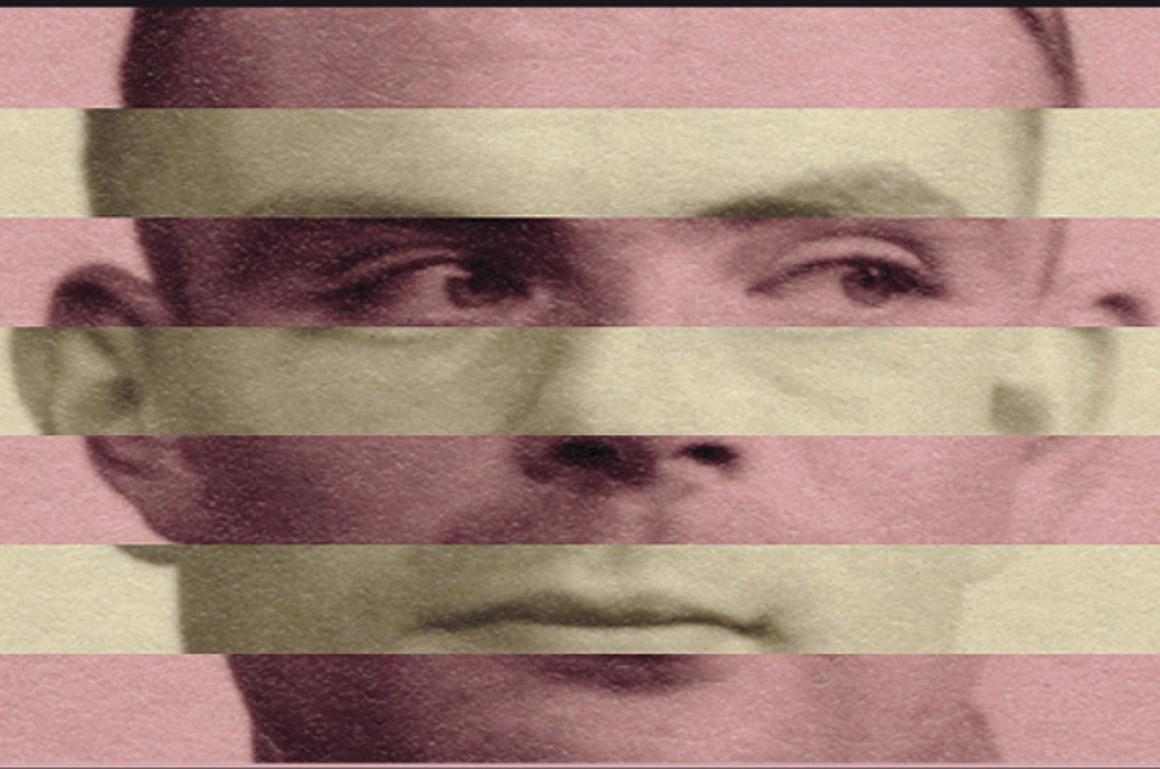
Alan Turing

El pionero de la era de la información

B. JACK COPELAND

T

TURNER NOEMA



Alan Turing

Pionero de la era de la información

B. JACK COPELAND

TRADUCCIÓN DE CRISTINA NÚÑEZ PEREIRA

COLECCIÓN NOEMA



Título:

Alan Turing. Pionero de la era de la información

© B. Jack Copeland, 2012

Edición original en inglés: *Turing. Pioneer of the Information Age* Oxford University Press, 2012

De esta edición:

© Turner Publicaciones S.L., 2012

Rafael Calvo, 42

28010 Madrid

www.turnerlibros.com

Primera edición: octubre de 2013

De la traducción del inglés: © Cristina Núñez Pereira

Esta traducción se publica por acuerdo con Oxford University Press

ISBN: 978-84-15832-73-7

Diseño de la colección: Enric Satué

Ilustración de cubierta: Enric Jardí

La editorial agradece todos los comentarios y observaciones:

turner@turnerlibros.com

Reservados todos los derechos en lengua castellana. No está permitida la reproducción total ni parcial de esta obra, ni su tratamiento o transmisión por ningún medio o método sin la autorización por escrito de la editorial.

ÍNDICE

- I Para abrir, haga clic, pulse o toque
- II La máquina universal de Turing
- III Estados Unidos, matemáticas, Hitler
- IV Tic-tic-tac, llamada de Enigma
- V La batalla de Turing contra los submarinos alemanes
- VI 1942: De nuevo en Estados Unidos + El nuevo código de Hitler
- VII Coloso, Dalila, Victoria
- VIII ACE, el trabajo de un mes en un minuto
- IX El 'cerebro electrónico' de Manchester
- X El juego de las imitaciones: inteligencia artificial, vida artificial
- XI Gachas frías
- XII /FIN////

Apéndice. Profundizando: una sencilla máquina de Turing

Notas

Créditos fotográficos

Este libro está dedicado a todos los amigos de Turing y a Robin Gandy, Jack Good, Peter Hilton y Donald Michie.

Debo mi agradecimiento a Ralph Erskine, Andre Haeff, Brett Mann, Diane Proudfoot, Bernard Richards, Martin Sage, Oron Shagrir, Edward Simpson y Eric Steinhart por sus útiles comentarios a partes del manuscrito. Deseo darle las gracias especialmente a Latha Menon por su apoyo constante, sus buenos consejos y su paciencia.

I PARA ABRIR, HAGA CLIC, PULSE O TOQUE

¿Tres palabras que resuman a Alan Turing? Humor: tenía un sentido del humor travieso, irreverente y contagioso. Valor. Aislamiento: le encantaba trabajar solo. Al leer sus trabajos científicos, casi da la sensación de que el resto del mundo – la atareada comunidad de mentes humanas que, desde otros lugares, trabajan en los mismos problemas o en otros relacionados– sencillamente no existía. Turing estaba decidido a hacerlo a su manera.

¿Otras tres? Patriota. Original: era original sin concesiones, y no le importaba mucho lo que los demás pensarán de sus inusitados métodos. Genial. No obstante, la magnífica mente de Turing estaba amueblada con austeridad. Era espartano en todo, en el interior y en el exterior, y no tenía tiempo para decorados vistosos, accesorios delicados, adornos superfluos o palabras innecesarias. A él lo que le importaba era la verdad. Todo lo demás era pura fruslería. Acertaba allí donde una mente mejor amueblada, más locuaz y más elaborada habría fallado. Alan Turing cambió el mundo.

¿Cómo habría sido conocerlo? Era tirando a alto (un metro y setenta y siete centímetros) y de constitución ancha.¹ Se le veía fuerte y en forma. Era fácil equivocarse con su edad, pues siempre pareció más joven de lo que era. Era guapo, pero extraño. Si te lo encontrabas en una fiesta, seguro que no te pasaba inadvertido. De hecho, es posible que preguntaras: “¿Quién demonios es ese?”.² No se trataba solo de su ropa raída o de sus uñas sucias. Era todo el

conjunto. Entre otras cosas, por aquel inusual ruido que hacía. A menudo se ha descrito como un tartamudeo, pero no lo era. Era su forma de impedir que la gente lo interrumpiera mientras meditaba lo que intentaba decir.³ “Ah... Ah... Ah... Ah...”. Lo hacía en voz alta.



Figura 1. Turing a los dieciséis años.
Crédito: Sherborne School.

En caso de que cruzaras la habitación para hablar con él, probablemente te toparía con que era cohibido y bastante reservado. Sin duda resultaba afectado, pero su reserva no era altanería. Era un hombre tímido, de pocas palabras. Las charlas triviales de cortesía no le salían con facilidad. Si tenías suerte, podía sonreír de forma encantadora, hacer parpadear sus ojos azules y soltar alguna extravagancia que te hiciera reír. Si la conversación seguía su curso, probablemente pensarías que era divertido y vivaz. Podía preguntarte, con su voz algo atiplada, si creías posible que a un ordenador llegaran a gustarle las fresas con nata o si podría conseguir que te enamorasas de él. O te preguntaría si sabrías decirle por qué una cara se refleja en un espejo de izquierda a derecha, pero no de arriba abajo.

Una vez que llegabas a conocerlo, Turing era divertido: alegre, animado, estimulante, chistoso...; rebosaba entusiasmo infantil. Su risa estridente, semejante a un graznido, resonaba escandalosamente. Pero también era un solitario. “Turing estaba siempre solo -decía el criptoanalista Jerry Roberts-. No parecía hablar mucho con la gente, aunque con su propio círculo era bastante sociable”. Como cualquiera, Turing ansiaba afecto y compañía, pero jamás pareció encajar bien en ningún lado.⁴ A él mismo le resultaba molesta su enajenación social, aunque esta, igual que su pelo, era una fuerza de la naturaleza frente a la que poco se podía hacer.⁵ En ocasiones, Turing podía llegar a ser muy grosero. Si pensaba que alguien le estaba escuchando sin poner suficiente atención, podía, sencillamente, marcharse. Era el tipo de hombre que, a menudo sin querer, irritaba a los demás, especialmente a la gente pretenciosa, a las personas con autoridad y a los científicos engreídos. También era taciturno. Su asistente en el National Physical Laboratory, Jim Wilkinson, recordaba divertido que había días en que lo mejor era mantenerse apartado del camino de Turing.⁶ Con todo, más allá del exterior irreverente, cascarrabias y hosco, había una inocencia candorosa, así como humildad y sensibilidad.

Turing murió con tan solo cuarenta y un años. Sus ideas, sin embargo, han continuado vivas y, con el cambio de milenio, *Time Magazine* lo incluyó en la lista de las cien mentes más brillantes del siglo xx, junto con los hermanos Wright, Albert Einstein, los investigadores que desentrañaron el ADN -Crick y Watson-, y el que descubrió la penicilina, Alexander Fleming. Los logros que Turing alcanzó durante su corta vida fueron incontables. Aunque es más conocido por ser el hombre que descifró algunos de los códigos alemanes más secretos durante la Segunda Guerra Mundial, Turing también fue el padre del ordenador moderno. Hoy, todo aquel que hace clic, pulsa o toca para

abrir algo está familiarizado con el impacto de sus ideas. A Turing le debemos la brillante innovación de las aplicaciones de almacenamiento y todos los demás programas que son necesarios para que los ordenadores ejecuten nuestras órdenes y que están *dentro de la memoria del ordenador* listos para que los abramos cuando queramos. Damos por sentado que usamos un mismo *hardware* para hacer compras, gestionar nuestras finanzas, escribir nuestras memorias, reproducir nuestra música y nuestros vídeos favoritos y enviar mensajes instantáneos al otro lado de la calle o del mundo. Como muchas grandes ideas, esta nos parece hoy tan obvia como la rueda y el arco, pero con este sencillo invento -el ordenador universal de programa almacenado- Turing nos cambió la vida. Su máquina universal prendió como la pólvora: actualmente, las ventas de ordenadores rondan el millón diario. En menos de cuatro décadas, las ideas de Turing nos han trasladado de una época en la que “computador” era el término que se utilizaba para un empleado que hacía sumas en la trastienda de una compañía de seguros o de un laboratorio científico a un mundo en el que mucha gente joven no ha conocido la vida sin internet.

Pero una biografía debería comenzar por el principio. Alan Turing nació hace poco más de un siglo, el 23 de junio de 1912, aproximadamente a un kilómetro de la estación londinense de Paddington, en el número 2 de Warrington Crescent. Su madre, Sara Stoney, provenía de una familia de ingenieros y científicos y cursó estudios en la escuela femenina de Cheltenham y en la Sorbona de París.⁷ Su padre, Julius, tenía un puesto en el Indian Civil Service [administración pública de la India], en lo que entonces era la ciudad imperial de Madrás, hoy Chennai. El joven Alan creció en el sur de Inglaterra en un mundo privilegiado: cocineras, sirvientas, vacaciones en el extranjero...; pero la vida que llevaba era casi la de un huérfano: vivía con los

cuidadores y solo veía a sus padres cuando regresaban de la India con un permiso. Sara describe que en una ocasión regresó tras una ausencia de muchos meses y se encontró con que Alan había cambiado radicalmente. “De ser siempre extremadamente vivaracho -incluso temperamental-, de hacerse amigo de todo el mundo, pasó a ser huraño y soñador”, dijo.⁸ Cuando partió de nuevo para su siguiente temporada en la India, se quedó “con el doloroso recuerdo de Alan bajándose corriendo del transporte escolar con los brazos muy abiertos, persiguiendo nuestro taxi que se perdía en la distancia”.⁹

La escuela era Hazelhurst, cerca de Tunbridge Wells, una escuela primaria para los hijos de la clase alta. El niño huraño y soñador fue empujado bruscamente a la vida del internado a la tierna edad de nueve años. Lo esperaba una adolescencia llena de persecuciones y novatadas. Fue en Hazelhurst donde comenzó a surgir el Turing inventor. Desde allí les escribió una carta a sus padres con una pluma estilográfica diseñada por él mismo, e incluso adjuntó un diagrama detallado de su invento.¹⁰ Los siguientes inventos de los que informó por carta incluían un prototipo poco común de máquina de escribir y un acumulador para proporcionar energía a los faros de su bicicleta. Seis años más tarde, se trasladó a la escuela de Sherborne en Dorset. Fundada en 1550 y construida a la sombra de la abadía de Sherborne, parecía un monasterio. Turing llegó en bicicleta, solo y desgredado. “Yo soy Turing”, anunció.¹¹ Gran Bretaña estaba entonces paralizada por la huelga general y los trenes no circulaban. “Tras llegar a Southampton procedente de Francia, compró un mapa, pedaleó hasta Blandford y después de pasar la noche en el mejor hotel compareció como estaba mandado a la mañana siguiente”, recordaba el encargado de los alumnos internos del colegio, Geoffrey O’Hanlon.¹² Su épico viaje llegó incluso a mencionarse en el periódico local *Western Gazette*. El

muchacho soñador se estaba convirtiendo en un gallardo joven que pensaba por su cuenta. Parecía resignado a la perspectiva de su reclusión en Sherborne. “Tenemos que darnos una ducha fría por la mañana –le dijo a su madre–. Para nosotros, las novatadas empiezan el próximo martes –escribió–. Se rigen por el mismo principio que los consejos galos, en los que se torturaba y mataba al que llegaba el último”.¹³

En Sherborne, Turing se hizo matemático. Su profesor de esta asignatura era Donald Eperson, un cura que admiraba *Alicia en el país de las maravillas*, de Lewis Carroll. Eperson publicó *The Lewis Carroll Puzzle Book* y también rodó un cortometraje titulado *Alice in Numberland*. Turing, recuerda Eperson, era “alguien a quien resultaba difícil enseñar, puesto que prefería sus propios métodos independientes”.¹⁴ Estos, dice Eperson, eran a veces “torpes y engorrosos y a veces brillantes pero poco sólidos”. Turing detestaba tener que dar algo por sentado o aceptar ideas de segunda mano. El director de Sherborne lo apodó “el alquimista” y lo calificó como “decididamente antisocial”.¹⁵ Otro profesor prometió dar mil millones de libras a la obra de caridad que Turing designara si este aprobaba su examen de latín.¹⁶ En 1929, sus ambiciosos padres lo matricularon como candidato a ingresar en el King’s College de Cambridge.¹⁷ Dos años más tarde, su sueño se hizo realidad. Turing consiguió una beca y, en el otoño de 1931, cruzó la imponente entrada principal de King’s arrastrando los pies. Muy pronto, estuvo trabajando a un nivel muy superior al de cualquier otro estudiante de primer año de matemáticas y elaboró un interesante teorema que, como luego se vio, ya había probado previamente el famoso matemático polaco Wacław Sierpiński.

Al examinar dicha prueba, Turing observó que Sierpiński había empleado “un método bastante complicado”. “Mi prueba es más sencilla, así que Sierpiński queda

desbancado”, alardeó.¹⁸ En King’s encajó mucho mejor que en ningún otro sitio hasta ese momento. La universidad se convirtió en su hogar intelectual. El joven Turing remaba, jugaba al *bridge* y al tenis, hacía nuevos contactos, disfrutaba del teatro y de la ópera y tocaba su violín de segunda mano. Esquiaba, dormía en tiendas de lona y soñaba con comprar un velero pequeño. Viajó por Europa y se unió al movimiento antibélico. Pero, principalmente, trabajó en las matemáticas. En 1934, bordó sus exámenes finales, por lo que se ganó el grado de Cambridge que lleva el enigmático título de “B Star Wrangler” (contendiente estrella de clase B), con honores de primera clase. En marzo del año siguiente fue elegido miembro del King’s, con tan solo veintidós años. Su ascenso por la resbaladiza escalera académica comenzó con mucho brío. 1935 también vio la publicación de su primer trabajo de investigación, en la prestigiosa revista *Proceedings of the London Mathematical Society*.



Turing.

Crédito: King’s College Library, Cambridge.

Tal y como se cuenta en el siguiente capítulo, Turing inventó su máquina universal cuando aún no hacía mucho tiempo que era miembro del King’s. El invento se le ocurrió

mientras estaba investigando un abstruso problema filosófico sobre los fundamentos de las matemáticas (irónicamente, su máquina universal surgió de una investigación completamente abstracta, de la que nadie habría dicho jamás que podría conducir a algo práctico, mucho menos a una máquina que afectaría a la vida de todos). Hizo un informe de su investigación bajo el opaco título de “On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem” [Sobre números computables con una aplicación al *Entscheidungsproblem* (o problema de decisión)] y lo publicó en 1936, de nuevo en la revista *Proceedings*, de la London Mathematical Society. Hoy en día, se considera que este trabajo es la piedra angular de la informática moderna. Turing, que todavía era un estudiante de posgrado, no tenía ni idea de la fama que este trabajo oscuro y difícil acabaría por depararle. Desplegó sus alas y partió para Estados Unidos con una invitación de la universidad de Princeton en el bolsillo. Allí se hizo con un doctorado en tan solo dieciocho meses, cuando el común de los mortales necesita, como mínimo, tres años. Es posible que le hubiera gustado quedarse más tiempo en este nuevo mundo, pero en Europa la guerra se avecinaba, y en el verano de 1938 retomó su lugar en el King’s.¹⁹ Durante los breves dieciséis años que siguieron, mientras era un pionero de la era de la información, su carrera fue *in crescendo*.

En 1939, el primer día de la guerra con Alemania, Turing fijó su residencia en Bletchley Park, una mansión victoriana en el condado de Buckingham. Allí, desempeñó un papel clave en la batalla para descifrar los mensajes que generaba Enigma, una máquina de cifrado militar alemana que se asemejaba a una máquina de escribir. A una máquina, Turing enfrentó otra máquina. El prototipo de su “bomba” anti-Enigma se instaló en la primavera de 1940, y estas “bombas” convirtieron Bletchley Park en una factoría de criptoanálisis. Ya en 1943, las máquinas de Turing

descifraban un asombroso total de ochenta y cuatro mil mensajes de Enigma al mes.²⁰ Turing en persona reveló el modelo de Enigma que utilizaban los submarinos que iban a la caza de los convoyes mercantes en el Atlántico norte. Fue una aportación crucial. También buscó un medio de colarse en el torrente de mensajes que repentinamente empezaron a emanar de una nueva máquina de cifrado alemana, mucho más sofisticada, a la que los británicos dieron el nombre clave de “Tunny”. La red de comunicaciones de Tunny, un antecedente de las redes actuales de telefonía móvil, abarcaba Europa y el norte de África y conectaba a Hitler y al alto mando del ejército en Berlín con los generales de primera línea. El descubrimiento de Turing en 1942 dio paso al primer método matemático que permitió desentrañar los mensajes de Tunny. En Bletchley Park, este método se conocía sencillamente como “turingería”, y los mensajes descifrados de Tunny proporcionaron información detallada sobre la estrategia alemana, información que cambió el curso de la guerra. El trabajo de Turing con Tunny fue la tercera de las tres ideas geniales con que Turing atacó los códigos alemanes, junto con el diseño de la “bomba” y el descubrimiento de cómo funcionaba la máquina Enigma de los submarinos. Turing es, junto con Churchill, Eisenhower y una pequeña lista honorable que incluye a otros protagonistas de la época bélica, una de las figuras principales en la victoria aliada sobre Hitler.

La “turingería” fue la semilla para los sofisticados algoritmos de descodificación de Tunny, que más tarde se incorporaron a Coloso, el primer ordenador electrónico a gran escala. Con la construcción y emplazamiento de los Colosos -llegado el final de la guerra, había nueve-, las de Bletchley Park se convirtieron en las primeras instalaciones de informática. El diseñador de estos ordenadores ultrasecretos, Thomas Flowers, estaba al tanto de la idea de Turing de 1936 de almacenar programas de forma digital

dentro de la memoria del ordenador, pero no la incorporó en el Coloso. En cuanto vio los estantes metálicos con el equipo electrónico de Flowers en funcionamiento, Turing supo que había llegado el momento de construir su propia máquina universal de programa almacenado.

Turing era un teórico de lo teórico; sin embargo, como Leonardo de Vinci e Isaac Newton antes que él, también se interesaba inmensamente por los aspectos prácticos. En 1945 diseñó un ordenador electrónico de programa almacenado enorme llamado *Automatic Computing Engine* (ACE). El nombre es un homenaje al pionero de los ordenadores Charles Babbage, un visionario del siglo XIX, que había propuesto gigantescos “motores” mecánicos de cálculo. El diseño del ACE de Turing alcanzó el éxito comercial con el nombre de DEUCE, de la English Electric Company, uno de los primeros ordenadores electrónicos que salieron al mercado. En aquellos días -los albores de la era de la información-, las nuevas máquinas se vendían a un ritmo aproximado de no más de una docena por año. Un consejero de la cúpula del gobierno incluso argumentó que uno solo de estos aparatos sería suficiente para cubrir todas las necesidades científicas de Gran Bretaña. De hecho, el sofisticado diseño del ACE de Turing persistió hasta convertirse en la base de los primeros ordenadores personales del mundo.

Turing no fue el único que hizo la conexión entre su máquina universal de 1936 y la electrónica. En cuanto la guerra terminó, su compañero criptoanalista, Max Newman, dejó Bletchley por la universidad de Manchester llevándose consigo un Coloso desmontado; le faltó tiempo para instalar un Laboratorio de Máquinas de Computación (Computing Machine Laboratory). Estando el proyecto del ACE de Turing atascado por los retrasos en Londres, la carrera por construir el primer ordenador universal de programa almacenado llegó a su fin en junio de 1948, cuando el grupo

de Manchester consiguió ejecutar un programa sencillo en su peculiar prototipo. A su ordenador lo llamaban el “Bebé”. Fue el primero de una nueva raza de máquinas.

En ese mismo año, el propio Turing se mudó a Manchester. Por fin tenía sus manos en una máquina universal de Turing. Pasó los siguientes años de su vida programando el ordenador de Manchester y también llevó a cabo investigaciones pioneras en el campo de la inteligencia artificial (IA). Se preguntaba si las máquinas podían pensar.²¹ Al plantearse esta cuestión, iba años por delante de su tiempo, y hoy en día se le considera el fundador del controvertido campo de la inteligencia artificial. Llegó incluso a imaginar la informática como una red de neuronas artificiales: un ordenador hecho a imagen y semejanza del córtex cerebral humano. La expresión “ordenador pensante” todavía puede chocarles a muchos como un binomio imposible, pero Turing predijo que pronto “podremos hablar de que las máquinas piensan sin esperar que nos contradigan”.²² Turing creó el primer programa de IA del mundo (jugaba al ajedrez) y escribió el primer manifiesto de la inteligencia artificial, un informe clarividente titulado “Intelligent Machinery”.

En sus últimos años, Turing fue el pionero de un campo que ahora se denomina vida artificial. Se centró en la cuestión de cómo desarrollan su forma y estructura los organismos que crecen. ¿Cuáles son los mecanismos químicos subyacentes que producen la disposición regular de los pétalos de una margarita o las intrincadas espirales de la piña de un abeto, o la compleja estructura del cerebro humano? En el alba de la era de la información, Turing estaba utilizando el ordenador Ferranti de Manchester para simular el crecimiento de tejidos, mientras otras personas todavía estaban intentando aceptar la idea de que los ordenadores eran el nuevo modo de llevar la contabilidad. Hoy, los investigadores, que tienen a su disposición mucha

más capacidad informática de la que el Ferranti de Turing podía ofrecer, están ampliando sus investigaciones biológicas. Sus exploraciones de las ecuaciones matemáticas de Turing están dando lugar a manchas de leopardo, rayas de jirafa, estructuras que recuerdan a la piel de los reptiles, corales, esponjas, caracolas, hongos y -lo más excitante de todo- neuronas. Turing murió cuando se hallaba inmerso en un trabajo revolucionario sobre el crecimiento biológico.

Mi relato de la breve pero brillante vida de Turing se vale de muchos años de conversaciones con sus colegas y amigos más íntimos. Espera capturar algo del complejo carácter de este genio tímido, así como describir la magnitud y la importancia de su legado.

II LA MÁQUINA UNIVERSAL DE TURING

Cambridge, últimos cabos del invierno, durante el trimestre de Cuaresma de 1935. Los antiguos chapiteles y los amurallados colegios de Cambridge parecían aún más viejos a la deprimente luz gris. En esta esquina húmeda y fría de Inglaterra, siempre estaba cubierto, incluso aunque el invierno hubiera sido inusitadamente suave. Desde la torre del reloj, en un patio pasado el St John's College, las campanas de Trinity tocaban estrepitosamente las diez de la mañana: diez repiques ensordecedores seguidos por otros diez de un timbre más agudo, ese que el poeta Wordsworth llamaba la voz "femenina" de las campanas del Trinity.¹ Max Newman, un miembro de St John's, daba enérgicas zancadas hacia la sala de conferencias del colegio. Se decía que el St John's -ubicado a poca distancia del King's College por unas estrechas calles medievales- era el segundo colegio más rico de Cambridge, después del increíblemente acaudalado Trinity. Según un rumor centenario, era posible hacer todo el camino desde este St John's hasta el otro colegio St John's, en la lejana Oxford, sin salirse ni un metro de los terrenos de la institución. Newman, un hombre con gafas, calvicie incipiente y casi cuarenta años, era una estrella en alza de las matemáticas en Gran Bretaña. Conforme caminaba, su toga académica ondeaba a su alrededor. Daba la sensación de que la sala de conferencias, que tenía varios siglos de antigüedad, formaba parte de una antigua catedral o monasterio. No había muchos alumnos. El tema de Newman, los fundamentos de las matemáticas, era conocido por su dificultad. Turing, muy atento, estaba sentado entre el público.

La gran conferencia final del ciclo sería una exposición de algunos de los espectaculares resultados obtenidos por Kurt Gödel, un matemático de veinticinco años de la universidad de Viena silencioso pero extraordinariamente brillante.² Poco después, en 1940, Gödel huiría de Viena y de los nazis a Estados Unidos,³ después de que aquellos, a pesar de sus diversas enfermedades -reales e imaginarias- lo hubieran declarado apto para alistarse en el ejército. Gödel no pensaba hacerlo; prefería convertirse en un refugiado. Los submarinos alemanes patrulleros hacían que cruzar el Atlántico fuese una empresa demasiado arriesgada, así que escapó hacia el este, a través de Rusia con el tren transiberiano y luego en barco de Japón a San Francisco. Fue acogido por el Princeton Institute for Advance Study, que ya era el hogar de algunos de los científicos y matemáticos más brillantes de Europa, entre ellos Albert Einstein y también John von Neumann, quien más tarde acabaría profundamente involucrado en el proyecto de construcción de la bomba atómica de Los Álamos.

En 1931, Gödel había demostrado que la aritmética era incompleta y este hecho sensacional y curioso iba a ser el tema de la conferencia final de Newman. Conocido sencillamente como el “teorema de Gödel sobre la incompletitud de la aritmética”, el hallazgo de Gödel sigue siendo hoy uno de los descubrimientos más asombrosos que jamás se hayan hecho sobre matemáticas. En nuestros días, se esboza como sigue: independientemente de cómo se expongan sus reglas formales, siempre habrá algunas verdades aritméticas -enrevesadas parientes de verdades más simples como que dos y dos son cuatro- que *no se puedan* probar por medio de reglas.⁴ Se asemeja un poco a descubrir que tu rompecabezas se ha fabricado adrede con algunas piezas de menos, o que tu nueva y exótica alfombra nunca va a encajar simultáneamente en las cuatro esquinas de la habitación. Parecía que la única forma de erradicar la

incompletitud consistía en adaptar las reglas para que de hecho fueran *autocontradictorias*, pero eso era una vía de escape poco apetecible.⁵

Lo que Gödel mostró es que en las matemáticas hay más verdad de la que se puede demostrar. Su descubrimiento fue chocante e incluso hizo enfadar a algunos. Los matemáticos tendían a pensar no solo que se podía probar cualquier cosa que fuera verdad, sino también que se debía probar cualquier cosa que importase, porque solo una prueba rigurosa llevada a cabo mediante reglas transparentes y evidentes conduce a la certeza. Pero las conferencias de Newman sobre este tema alucinante iban a tener lugar al cabo de unas pocas semanas. En aquella charla no iba a hablar sobre Gödel, sino sobre David Hilbert, un famoso profesor de Matemáticas de Gotinga, una de las universidades alemanas más importantes. Hilbert, más de cuarenta años mayor que Gödel, era, por así decir, el papa de las matemáticas europeas. “En matemáticas –rezaba una famosa aseveración de Hilbert– no hay ningún *ignorabimus*”, no hay ningún *nunca lo sabremos*.⁶ En 1900, en una conferencia dictada en París, el magistral Hilbert había establecido los objetivos para buena parte de las matemáticas del siglo xx. Turing, un inquieto estudiante de posgrado de Cambridge, estaba a punto de demostrar que, en esencia, Hilbert estaba equivocado.

Newman estaba hablándole a su público sobre la idea de un procedimiento “sistemático” en matemáticas, un concepto fundamental en todo el enfoque de Hilbert. Las reglas bien conocidas para resolver multiplicaciones largas que todos nosotros aprendemos en la escuela son un buen ejemplo de lo que los matemáticos entienden por procedimiento sistemático: un método manual que cualquiera puede llevar a cabo, de forma mecánica, paso a paso, sin necesidad de creatividad o entendimiento de ningún tipo. No se precisa de intuición ni de inventiva. Un

empleado bien adiestrado lo puede llevar a cabo con precisión, si sigue las instrucciones al pie de la letra, y no es necesario que entienda el propósito del procedimiento ni cómo o por qué funciona. A decir verdad, este no era solo un concepto abstracto, pues en los entornos de negocios, de investigación y del gobierno, había de hecho muchos miles de empleados que realizaban cálculos mediante procedimientos sistemáticos. En aquellos días, ellos hacían el trabajo esclavo que hoy en día realizan los ordenadores electrónicos. Resulta gracioso que a estos mismos empleados se les llamara “computadoras”. En aquel entonces, una computadora no era en absoluto una máquina, sino un ser humano, un empleado matemático que trabajaba de forma repetitiva.

Newman informó a su público de que la característica básica de todos estos procedimientos matemáticos sistemáticos es que los puede hacer una *máquina*. En aquel entonces, era una forma innovadora de expresar la idea y las palabras de Newman avivaron la imaginación de Turing. Muchos años más tarde, al recordar la máquina universal inventada por Turing, Newman dijo: “Yo creo que todo comenzó porque asistió a una de mis conferencias sobre los fundamentos de las matemáticas y la lógica”.⁷ La sugerencia de que una máquina podría llevar a cabo procedimientos sistemáticos, explicaba Newman, motivó a Turing a “probar y decir qué se entendería por una máquina computadora totalmente general”. Lo que Turing oyó en la conferencia de Newman le fascinó de tal manera que llegó a dominar su vida laboral durante muchos meses. Pensaba con denuedo. Típico en él, no parece haber discutido mucho sus ideas con otras personas, ni haberle dicho a la gente en qué andaba pensando, ni siquiera a Newman. El problema era suyo y no sentía en absoluto la necesidad de hablar de él.

Un día, mientras cenaban sentados a la High Table -la mesa para los miembros del King's y sus invitados-, Richard Braithwaite, otro miembro del King's College, consiguió hacer que Turing hablara sobre aquello en lo que estaba trabajando. Muy educadamente, Braithwaite le dijo que podía ver conexiones con lo que Gödel había demostrado, pero no halló respuesta alguna por parte de Turing y, más tarde, en una carta escribió sobre el "absoluto desconocimiento de Turing respecto al trabajo de Gödel".⁸ Braithwaite añadió: "Considero que tuve algo que ver en dirigir la atención de Turing hacia la relación de su trabajo con el de Gödel". Puede que a Turing le hubiera picado tanto el gusanillo de la máquina que ni siquiera se molestara en dejarse caer por la siguiente conferencia de Newman, la que versó sobre Gödel. O puede que esto fuera un ejemplo de lo que más tarde Newman llamaría, de forma un tanto brusca, "un defecto en sus atributos", a saber, que "a Turing le costaba utilizar el trabajo de los demás y que prefería resolver las cosas por sí mismo".⁹ Ciertamente, Gödel no tenía ese defecto y fue espléndido en su alabanza de los logros que Turing alcanzó durante su año de intensa cavilación. Gödel dijo generosamente que Turing lo había conducido a "la perspectiva correcta".¹⁰ Utilizando los descubrimientos de Turing, pudo extender el alcance de su teorema de la incompletitud hasta cubrir *todos* los sistemas matemáticos formales que tuvieran alguna base aritmética.¹¹ En matemáticas, la incompletitud estaba casi *por todas partes*.

Una vez que Turing estuvo bien preparado, hacia finales de abril de 1936, visitó a Newman y le dio un extenso borrador de "On Computable Numbers".¹² Newman tuvo que quedarse de piedra cuando lo leyó. Turing había inventado una máquina universal. La máquina de sus sueños consistía en una memoria ilimitada -una cinta de papel sin fin- y un "lector" que se movía hacia delante y

hacia atrás a lo largo de la cinta, leyendo lo que había impreso en ella e imprimiendo, a su vez, más letras y números en el papel. El programa de la máquina, y cualquier dato que fuera necesario para el cálculo, se imprimía en el papel antes de que el cálculo comenzara. Colocando diferentes programas en la cinta de la memoria, quien manejase la máquina podía hacer que esta llevara a cabo *cualquier procedimiento* que una computadora humana pudiera realizar. De ahí que Turing dijera que su máquina era “universal”.

Una “máquina computadora”, tal y como se empleaba el término en aquellos días, era aquella capaz de hacer el trabajo que normalmente realizaba una computadora humana, y Turing se refería a su invento como *la máquina computadora universal*, aunque enseguida se dio a conocer sencillamente como “la máquina universal de Turing”. En la literatura, hoy vasta, sobre su máquina, su nombre aparece mal escrito en ocasiones, como la máquina “Turning” o la “Türing” e incluso como la máquina universal “touring”. Era el esquema básico de un ordenador moderno, el sencillo *hardware* que, usando los programas almacenados en su memoria, podía, sin esfuerzo, pasar de ser una herramienta dedicada a una tarea a ser una herramienta destinada a una tarea totalmente distinta -de calculadora a procesador de textos a oponente en una partida de ajedrez, por ejemplo.

La máquina universal de Turing era, de hecho, una idealización altamente abstracta de la computadora humana. Pero también era algo radicalmente nuevo, una máquina de una versatilidad insospechada. Es más, Turing había osado introducir conceptos con cierto aroma a *ingeniería* en una discusión sobre las partes más fundamentales de las matemáticas. Newman escribió más tarde: “Hoy es difícil que nos demos cuenta de lo atrevida que era la innovación de introducir el asunto de las cintas de papel y los patrones perforados en ellas en discusiones

sobre los fundamentos de las matemáticas”.¹³ El apéndice de este libro describe una máquina de Turing muy sencilla – en realidad, es uno de los ejemplos que el propio Turing proporcionó en 1936–, completa, con su cinta de papel, su lector de lectura-escritura y el primer programa de cálculo que Turing publicó.

Para Turing, ensimismado en su ataque a las opiniones pontificias de Hilbert sobre la naturaleza de las matemáticas, la máquina computadora universal fue uno de los principales pasos en el camino que finalmente lo condujo a la refutación de Hilbert. Al razonar sobre el comportamiento de la máquina universal, Turing pudo mostrar que hay problemas matemáticos bien definidos que la máquina universal *no puede resolver*. Este resultado fue tan sorprendente como el teorema de la incompletitud de Gödel. Tal y como lo expondríamos hoy en día, Turing había demostrado que hay problemas matemáticos bien definidos, que admiten una respuesta directa afirmativa o negativa, que ninguna máquina computadora finita puede resolver, aunque tenga una memoria en blanco ilimitada y pueda continuar haciendo cálculos de manera indefinida. Muchísimos programadores informáticos han creído que los ordenadores pueden resolver cualquier problema matemático siempre y cuando este esté formulado con la precisión suficiente para escribir un programa adecuado. Pero el hallazgo de Turing demuestra que su optimismo es infundado.

Turing dio algunos ejemplos de problemas matemáticos bien definidos que no podían ser resueltos por una máquina computadora finita.¹⁴ Uno de estos es el llamado *problema de la impresión*: para cualquier programa de la máquina computadora de Turing dado, averígüese si ejecutarlo provocará que la máquina imprima “0” en la cinta en algún caso.¹⁵ Muchos programas imprimirán un cero en algún momento, mientras que otros nunca lo hacen. En principio,

es posible decir cuál de estos es el caso sin tan siquiera poner en funcionamiento la máquina de Turing, simplemente razonando sobre la naturaleza del programa. Resolver el problema de la impresión equivale a poder decir, tras una serie finita de razonamientos, cuál es la alternativa correcta -y aún más: dar la respuesta correcta con independencia de cuál sea el programa de la máquina de Turing que se esté investigando-. Es de reseñar que ningún ordenador puede resolver este problema de apariencia tan sencilla.

Gödel y Turing, entre los dos, asestaron un doble mazazo a la explicación de la naturaleza de las matemáticas propuesta por Hilbert del que esta nunca se recuperó. El resultado de la incompletitud de Gödel propinó el primer golpe a la visión de Hilbert de que las matemáticas son, en esencia, una cuestión de *prueba*. Cinco años después, Turing serró otra pata del tambaleante trono de Hilbert. El ataque de Gödel se había centrado en un sistema muy específico de reglas aritméticas, mientras que Turing atacó en un frente mucho más amplio, empleando como arma su máquina universal. Basándose en que su máquina es capaz de realizar todos y cada uno de los procedimientos sistemáticos -una proposición que en la actualidad se conoce sencillamente como la “tesis de Turing”-, pudo establecer resultados que son más generales que los de Gödel.¹⁶ Turing había desarrollado las herramientas que se necesitaban para redibujar el mapa de las matemáticas y precisó unos problemas matemáticos que, como el problema de la impresión, son tan difíciles que no se pueden resolver mediante ningún procedimiento sistemático.¹⁷

Hilbert pensaba que tenía que haber un único procedimiento sistemático supremo para establecer la verdad o la falsedad en matemáticas. Equipado con este procedimiento -con esta “nueva piedra filosofal”, como la

llamaba Newman, en una referencia burlona a la mítica sustancia que permitiría a los alquimistas convertir el plomo en oro-,¹⁸ cualquiera podría predicar la verdad o falsedad de toda afirmación matemática dada sin necesidad de entendimiento, intuición ni creatividad. Hilbert decía que la existencia de un procedimiento sistemático supremo era necesaria para asentar el conjunto de las matemáticas “sobre un fundamento concreto con el que todo el mundo pueda estar de acuerdo”.¹⁹ El trabajo de Gödel hizo temblar la creencia de que existiera ese procedimiento sistemático supremo, y ahora Turing generaba un argumento totalmente convincente de que tal procedimiento no podía existir. Si existiera, entonces la máquina universal de Turing podría llevarlo a cabo, puesto que la máquina universal de Turing podía llevar a cabo cualquier procedimiento sistemático. Y entonces, equipada con la nueva piedra filosofal, la máquina universal de Turing sería capaz de resolver todos los problemas matemáticos de *sí* y *no*. Sin embargo, Turing había mostrado más allá de toda duda que la máquina universal *no podía* resolver todos los problemas matemáticos de respuesta afirmativa o negativa. De lo que se deduce, inexorablemente, que no es posible que el procedimiento sistemático supremo de Hilbert exista.

Aunque en aquel entonces para Turing fue importante corregir a Hilbert, desde un punto de vista moderno, este aspecto de su trabajo realmente fue poco más que una historia secundaria si se compara con su maravilloso invento de la máquina computadora universal. Ya desde el principio Turing había estado interesado en construir realmente una máquina universal,²⁰ pero no conocía ninguna tecnología adecuada. En la época victoriana, el visionario Charles Babbage había soñado con construir un gigantesco ingenio digital de cálculo para uso general, un “motor”, tal y como él lo llamaba, que podría hacerse cargo del trabajo de cientos de computadoras humanas (véase la

Figura 3). Si Turing es el padre del ordenador moderno, Babbage es sin duda su abuelo.²¹ Un pequeño modelo del ambicioso “motor analítico” de Babbage se terminó de fabricar justo antes de su muerte, pero la máquina al completo nunca se llegó a construir.²² De acuerdo con el diseño de Babbage, el motor analítico era alimentado con instrucciones perforadas en tarjetas conectadas con lazos, una idea que Babbage tomó prestada del telar automático de Jacquard. Aunque este motor analítico estaba diseñado para almacenar información en su memoria interna (a la que Babbage llamaba simplemente el “almacén”), no se había previsto que se almacenaran también las instrucciones en sí. A la máquina de Babbage le faltaba la instalación del programa almacenado de Turing, el dispositivo esencial de los ordenadores modernos.

En cuanto a cómo planeaba construir su máquina, Babbage vivió en la era del ferrocarril y tuvo la intención de construir sus máquinas de cálculo con el tipo de componentes mecánicos que se empleaban en las locomotoras y en otra suerte de maquinaria industrial victoriana: ruedas dentadas de latón, barras, trinquetes, piñones, etcétera.

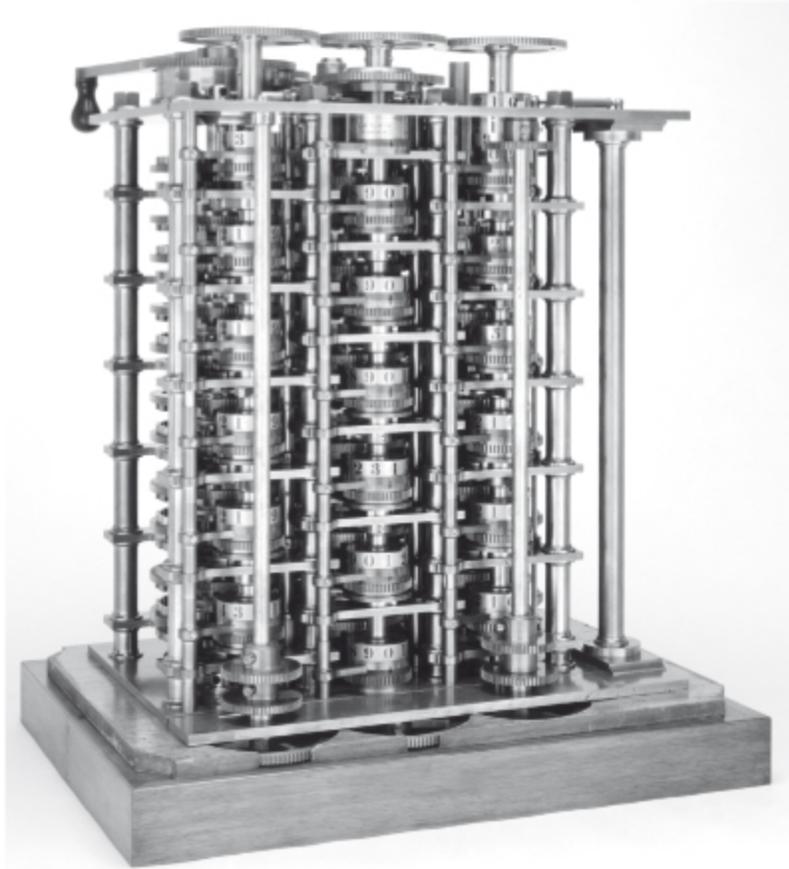


Figura 3. Parte del motor diferencial de Babbage.

Crédito: Science Museum / Science & Society Picture Library. - Todos los derechos reservados.

La tecnología ferroviaria a vapor de Babbage no era de ninguna utilidad para Turing, aun cuando recientemente se habían construido pequeñas máquinas computadoras para fines especiales a partir de componentes mecánicos del tipo de los de Babbage. Una era el Analizador Diferencial analógico, terminado en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en 1931.²³ Este ordenador requería que un mecánico habilidoso, provisto con un martillo de plomo, lo “programase” para cada nuevo trabajo. Turing, por otra parte, necesitaba un tipo de tecnología capaz de funcionar a muy alta velocidad y que le permitiera almacenar las instrucciones y la información en un volumen

razonablemente compacto. Era un trabajo que las ruedas dentadas mecánicas sencillamente no podían hacer.

En 1936, la tecnología puntera para la construcción de dispositivos eléctricos de procesamiento de información, como las centralitas de teléfonos y el equipamiento para clasificar tarjetas perforadas, era el relevador electromecánico: un pequeño interruptor que funcionaba con electricidad, formado por una varilla metálica movida por un electroimán y un muelle. Cuando la varilla se movía en una dirección, completaba un circuito eléctrico y, cuando saltaba en la dirección opuesta, el circuito se interrumpía de nuevo. Los relevadores eran grandes, lentos, toscos y no muy fiables. Turing bromeaba con que una máquina universal de Turing construida a base de relevadores habría de tener más o menos el tamaño del Albert Hall, un enorme edificio del centro de Londres.²⁴ Hasta la época de la guerra, cuando estuvieron trabajando como criptoanalistas en Bletchley Park, Turing y Newman no cayeron en la cuenta de cómo se podía construir una máquina universal de Turing. El secreto estaba en la electrónica. Las “válvulas” electrónicas, tal y como las llamaban los británicos –en Estados Unidos se las conoce como “tubos de vacío”– funcionaban muchísimo más rápido que los relevadores, porque la única parte que se movía era un haz de electrones. El sueño de construir una máquina computadora universal *electrónica* que fuera milagrosamente rápida atrapó a los dos criptoanalistas.

En la primavera de 1936, no obstante, Turing concentraba principalmente su atención en conseguir que se imprimiera un trabajo académico que detallaba sus resultados matemáticos. Lo tituló “On Computable Numbers, with an Application to the *Entscheidungsproblem*”. Publicarlo en una revista profesional era el primer paso para hacer que sus ideas se dieran a conocer y se comprendieran. Los trabajos no publicados rara vez tienen algún impacto –incluso una vez que ha salido a la luz, un trabajo puede recibir escasa