

Alan Turing

En busca de los orígenes de las computadoras y la inteligencia artificial



Abogado Kyung-jin Kim

Índice

El hombre que abrió paso al pensamiento de una nueva era

Capítulo 1. Curiosidad infantil y autodidactismo (1912~1926)

Capítulo 2. La Escuela Sherborne y el viaje en bicicleta de 60 millas (1926–1931)

Capítulo 3. Christopher Morcom y la naturaleza del espíritu (1928~1930)

Capítulo 4. La libertad en el King's College de Cambridge (1931~1935)

Capítulo 5. Números computables y la máquina universal de Turing (1935–1936)

Capítulo 6. Estudios en Princeton y la máquina oráculo (1936–1938)

Capítulo 7. La llegada a Bletchley Park y el comienzo de la guerra criptográfica (1938–1940)

Capítulo 8. Diseño y hazañas de la máquina descifradora Bombe (1939~1941)

Capítulo 9. Hut 8, Enigma naval y Banburismus (1940–1942)

Capítulo 10. Intercambio tecnológico secreto y el proyecto Delilah (1942-1945)

Capítulo 11: El NPL y el diseño de la computadora pionera ACE (1945-1948)

Capítulo 12. La Universidad de Mánchester y la primera computadora de programa almacenado (1948–1951)

Capítulo 13. El test de Turing: ¿pueden pensar las máquinas? (1950)

Capítulo 14. Morfogénesis: descifrar los patrones de la vida mediante las matemáticas (1951–1952)

Capítulo 15. El juicio y la discriminación del Estado (1952-1954)

Capítulo 16. La muerte de Turing y su tardía rehabilitación (después de 1954)

Capítulo 17. Historia y desarrollo de la inteligencia artificial (décadas de 1950 a 2020)

Capítulo 18. La inteligencia artificial en 2026 y los desafíos pendientes

Principales referencias · Vida y fuentes primarias

El hombre que abrió paso al pensamiento de una nueva era

Alan Turing se preguntó qué podían hacer las máquinas antes de que las computadoras se usaran ampliamente. Su curiosidad infantil lo llevó a la investigación matemática y, durante la guerra, descifró los códigos del ejército alemán junto con sus colegas. Tras el fin de la guerra, investigó el diseño de computadoras y los patrones de la vida. Sin embargo, el Reino Unido lo castigó por ser homosexual. Su vida encierra tanto la búsqueda de nuevos conocimientos como la imagen de una sociedad que no logró proteger a una persona.

Turing analizó paso a paso el proceso por el cual una persona calcula siguiendo reglas. En ese proceso, propuso el principio de una máquina universal capaz de realizar diversos tipos de cálculos. La idea de que las tareas que realiza una máquina pueden cambiarse mediante un programa se convirtió en la base para comprender las computadoras actuales.

También exploró la posibilidad de que las máquinas conversaran con las personas y aprendieran a través de la experiencia. Aunque la inteligencia artificial actual es un logro construido conjuntamente por muchos investigadores, las preguntas de Turing son uno de sus puntos de partida. Este libro recorre su vida y examina cómo se desarrollaron sus ideas sobre el cálculo, la inteligencia y la vida.

Turing volvió a cuestionar los principios de lo que resulta familiar e intentó verificar las respuestas mediante las matemáticas y la experimentación. En esto radica también la razón por la que lo leemos. Más allá de aprender la tecnología ya disponible, aprendemos de un hombre que abrió paso al pensamiento de una nueva era qué podemos concebir de nuevo.

Abogado Kim Kyung-jin

Capítulo 1. Curiosidad infantil y autodidactismo (1912~1926)



Figura 1. Ilustración que representa al joven Turing observando plantas.

Alan Turing creció separado de sus padres desde aproximadamente el año de edad. Debido a que el lugar de trabajo de su padre estaba en la India, Alan fue confiado a otra familia en el Reino Unido, y con sus padres se comunicaba principalmente por carta. Después de ingresar en la escuela, solía ser visto como un niño extravagante. No fue una infancia deslumbrante.

Este niño se convertiría más tarde en matemático, descifraría códigos y llegaría a ser considerado una de las personas que sentaron las bases de la ciencia de la computación. Hoy en día vivimos con computadoras, teléfonos inteligentes e inteligencia artificial, y una de las primeras personas que exploró a fondo los principios por los que funcionan estas máquinas fue Alan Turing. Este capítulo abarca desde 1912, año en que nació Alan, hasta 1926, cuando ingresó en la escuela secundaria. A través de los registros conservados, examinamos cómo creció la curiosidad de Alan en medio de la soledad de vivir lejos de sus padres.

1.1. Nacimiento en Londres y crianza de acogida

Alan Mathison Turing nació el 23 de junio de 1912 en Maida Vale, Londres, Reino Unido. Su lugar de nacimiento fue un edificio llamado Warrington Lodge, que más tarde se convirtió en el Hotel Colonnade. En la actualidad, en la pared exterior de ese edificio hay una placa circular azul. En el Reino Unido, estas placas se colocan en las casas donde nacieron o vivieron personas ilustres, y se las conoce como 'placa azul' (blue plaque).

Aunque Alan nació en Londres, la base de vida de su familia estaba en la India. Su padre, Julius Mathison Turing (1873~1947), era un funcionario británico que trabajaba en la India. En aquella época, la India era una tierra gobernada por Gran Bretaña, y el Reino Unido seleccionaba y enviaba a sus propios ciudadanos como funcionarios para gobernar la India. La organización encargada de esta labor era el Servicio Civil de la India, abreviado en inglés como ICS. Julius trabajaba en la provincia de Madrás, en el sureste de la India. Chatrapur, la ciudad costera donde residían los padres de Alan, pertenece hoy al estado indio de Odisha.

La familia de su madre, Ethel Sara Turing (1881~1976), también tenía profundos vínculos con la India. El apellido de soltera de Sara era Stoney, y su padre, Edward Waller Stoney, era el ingeniero jefe de los Ferrocarriles de Madrás. La familia Stoney tenía sus raíces en

Irlanda. Julius y Sara se casaron el 1 de octubre de 1907 en una iglesia de Dublín, Irlanda, y al año siguiente, en 1908, tuvieron a su primer hijo, John Ferrier Turing. Alan era el segundo hijo, cuatro años menor que John.

Julius y Sara decidieron criar a sus hijos en el Reino Unido y no en la India. Consideraban que la India era un lugar difícil para el crecimiento de niños pequeños debido al clima caluroso y a las frecuentes epidemias. También deseaban fervientemente que sus hijos estudiaran en escuelas tradicionales británicas. Esa fue también la razón por la cual Sara regresó al Reino Unido para dar a luz a Alan. Sin embargo, el lugar de trabajo del padre seguía estando en la India. Cuando Alan tenía alrededor de 1 año, sus padres partieron de nuevo hacia la India y los dos hermanos se quedaron en el Reino Unido.

El lugar al que fueron confiados los hermanos fue St Leonards-on-Sea, una localidad costera en el sur de Inglaterra. En una colina de este pueblo había una gran casa llamada Baston Lodge, donde vivían el coronel Ward, retirado del ejército, y su esposa. En la casa también residían los hijos del matrimonio Ward y una niñera que cuidaba a los niños. A esta práctica de que otra familia acoja y críe a un niño en lugar de sus padres se la denomina crianza de acogida. Alan creció en esta casa desde alrededor de 1913 hasta 1921, es decir, desde 1 hasta los 9 años de edad. El 23 de junio de 2012, en el 100.º aniversario del nacimiento de Alan, también se colocó una placa azul en Baston Lodge.

Los padres obtenían permisos de vacaciones cada pocos años para viajar al Reino Unido, y solo entonces podían los hijos ver sus rostros. Durante el resto del tiempo, lo que unía a los padres con los niños eran las cartas. Alan tuvo que acostumbrarse a las reglas de un hogar ajeno antes que al regazo de sus propios padres. Aunque había varios niños en la misma casa, Alan prefería pasar tiempo examinando cosas a solas antes que correr y jugar con sus compañeros. Los números, los símbolos, los mapas y los cálculos eran los pasatiempos de Alan.

Se cuentan varias anécdotas sobre Alan durante su época en Baston Lodge. En primer lugar, Alan aprendió a leer con gran rapidez. Según los registros dejados por su madre, Sara, Alan aprendió a leer por sí mismo en unas 3 semanas con un libro titulado «Reading Without Tears» (Lectura sin lágrimas). Era un niño que descubría las reglas por sí mismo sin necesidad de que alguien se las enseñara paso a paso.

También tenía la terquedad de querer conocer una historia hasta el final. Hacia 1918, cuando su madre estaba en el Reino Unido, Sara le leía en voz alta en Baston Lodge «El progreso del peregrino» (The Pilgrim's Progress) de John Bunyan. Cuando a mitad del libro apareció una explicación religiosa larga y árida, Sara se saltó disimuladamente ese pasaje. Ante esto, Alan se enfureció enormemente diciendo que omitir eso arruinaba toda la historia, y subió corriendo a su habitación. Para Alan, una historia era una estructura continua de principio a fin, y consideraba que si faltaba una sola pieza, todo se desarticulaba.

Alan también inventaba palabras por sí mismo. En el pueblo costero, las gaviotas se disputaban ruidosamente la comida, y Alan inventó la palabra 'quockling' para referirse a ese sonido. Cuando se encontraba con algo que no tenía nombre, él mismo le ponía uno.

Al regresar al Reino Unido en 1921, su madre sintió que su hijo había cambiado. El niño que antes era vivaz y hablador ahora hablaba poco y pasaba el tiempo sumido en sus propios pensamientos. El largo tiempo separado de sus padres debió de haber dejado una huella en su joven corazón. Ese mismo año, Alan abandonó la casa del matrimonio Ward. En las cartas de su infancia se aprecia su empeño por averiguar por sí mismo todo lo que despertaba su curiosidad.

1.2. Primeros años escolares y una curiosidad extraordinaria

La primera escuela a la que asistió Alan fue la escuela St Michael's, ubicada en el 20 de Charles Road, en St Leonards-on-Sea. Alan asistió a esta escuela desde 1918 hasta 1921, desde los 6 hasta los 9 años de edad. Durante las clases, Alan a menudo parecía distraído. Esto se debía a que, en lugar de seguir al pie de la letra el método indicado por el maestro, resolvía los problemas a su propia manera. Sin embargo, la directora de esta escuela reconoció algo extraordinario en Alan. Según relató su madre, Sara, la directora comentó que hasta entonces había visto niños inteligentes y niños diligentes, pero que Alan era un genio. Había empleado la palabra 'genio' para referirse a un niño que ni siquiera tenía 9 años.

En enero de 1922, a los 9 años de edad, Alan ingresó en la escuela Hazelhurst, situada en el pueblo de Frant, en el condado de Sussex. Hazelhurst era una escuela preparatoria con

internado. En el Reino Unido, las escuelas preparatorias son aquellas a las que se asiste antes de ingresar en una gran escuela secundaria privada, y los alumnos vivían lejos de casa, comiendo, durmiendo y estudiando en el internado escolar. Su hermano John también asistió a esta escuela; cuando Alan ingresó, John cursaba el último curso y Alan, el primero. Alan permaneció en esta escuela hasta la primavera de 1926.

En Hazelhurst, las calificaciones de Alan no eran sobresalientes. En asignaturas a las que la escuela daba gran importancia, como idiomas o literatura, su rendimiento era normal o apenas un poco superior al promedio. Sin embargo, cuando se sumergía en temas elegidos por él mismo fuera de los libros de texto, las cosas eran muy distintas. En tales momentos, Alan se entregaba a una sola tarea perdiendo la noción del tiempo.

Uno de esos temas le fue abierto por un libro. En 1922, a los 10 años, Alan se encontró con el libro «Natural Wonders Every Child Should Know» (Maravillas naturales que todo niño debe saber), escrito por el autor estadounidense Edwin Tenney Brewster. Este libro explicaba desde la perspectiva de la ciencia cómo nacen y crecen los seres vivos y cómo funciona nuestro cuerpo. Contenía la idea de que la vida también puede considerarse como una especie de máquina que funciona según las leyes de la naturaleza, y no por una fuerza misteriosa. Alan quedó fascinado con este libro. Más tarde, su madre Sara recordaría que este libro fue el que abrió por primera vez los ojos de Alan hacia la ciencia.

Lo que Alan investigaba con pasión fuera de los libros de texto puede constatararse en las cartas que enviaba a sus padres en la India. Estas cartas aún se conservan y están depositadas en el archivo de King's College de la Universidad de Cambridge, en el Reino Unido. Si se leen las cartas en orden cronológico, es posible asomarse a la mente del joven inventor.

Lo primero que llama la atención son los instrumentos de escritura. En abril de 1923, a los 10 años, Alan relató en una carta sobre una pluma estilográfica que él mismo había fabricado, e incluso incluyó un dibujo que mostraba cómo fluía la tinta hacia el plumín. Entre 1923 y 1924, escribió cartas con tinta que él mismo preparaba, a la que llamaba 'tinta patentada'. También envió dibujos en los que analizaba cómo encajaban y se movían las piezas internas de una máquina de escribir.

En el verano y el otoño de 1924, quedó cautivado por las montañas y los mapas. En los mapas existen líneas que unen puntos de igual altitud, llamadas curvas de nivel. Alan calculó cómo medir la altura de una montaña a partir de las curvas de nivel y adjuntó en una carta dos mapas con curvas de nivel dibujados por él mismo. Fue también por esa época cuando escribió sobre la extravagante idea de una bicicleta capaz de correr sobre el agua.

Entre septiembre de 1924 y marzo de 1925, se apasionó profundamente por la química. Alan escribió en una carta cómo se transforma el dióxido de carbono en la sangre humana y rogó a sus padres que le compraran material de laboratorio porque quería estudiar química por su cuenta. Lo que Alan deseaba era una vasija de destilación de barro cocido. La destilación es un método que consiste en hervir un líquido y enfriar el vapor generado para recolectar por separado la sustancia deseada. También escribió varias veces sobre las reglas de las reacciones químicas y las excepciones que no se ajustaban a dichas reglas. También se cuenta que realizó experimentos para extraer una sustancia llamada yodo quemando algas marinas recolectadas en la playa.

En octubre de 1925, ideó un dispositivo para cargar un acumulador pedaleando en una bicicleta fija. Un acumulador es una batería que se puede recargar y reutilizar. Su idea consistía en convertir la fuerza de las piernas humanas en electricidad.

En las cartas no solo había historias sobre inventos y experimentos. Alan también se aficionó al ajedrez. El ajedrez es un juego en el que se busca la mejor jugada dentro de unas reglas establecidas. Cada pieza tiene rutas de movimiento determinadas, y un solo movimiento altera en cadena todo lo que sucederá después. Alan participó en el torneo de ajedrez escolar y, en noviembre de 1924, envió una postal a sus padres contándoles su participación en dicho torneo. También participó en las reuniones de debate de la escuela. Más tarde, Turing también ideó formas de jugar al ajedrez mediante computadoras.

Si se observan en conjunto la pluma estilográfica, la tinta, la máquina de escribir, los mapas, la química, el acumulador y el ajedrez, los intereses de este niño de unos 10 años pueden parecer dispersos en todas direcciones. Sin embargo, todos estos intereses compartían un rasgo común. Como se evidencia en sus cartas al describir el camino que sigue la tinta al fluir, el modo en que encajan las piezas de la máquina de escribir o las reglas y excepciones de las reacciones químicas, Alan siempre quiso comprender bajo qué

principios funcionan las cosas. Más que la apariencia externa, el destino de la curiosidad de Alan era encontrar las reglas ocultas en el interior.

1.3. La genialidad de una 'piedra en bruto'

Una piedra en bruto es una gema recién extraída de la tierra. Por fuera es irregular y está cubierta de tierra, por lo que a primera vista no se diferencia de una piedra común, pero al pulirla y tallarla, brilla desde su interior. El joven Alan Turing era una piedra en bruto de este tipo. A los ojos de los demás era un niño extravagante y torpe, pero en su interior se ocultaba la fuerza para comprender el mundo a su propia manera.

Los estándares escolares de aquella época también contribuyeron a que Alan pareciera torpe. En aquel entonces, las escuelas privadas británicas buscaban formar alumnos que estudiaran latín, griego y literatura clásica, y que acataran rigurosamente las normas de la vida comunitaria. Las ciencias y las matemáticas recibían una consideración inferior. También se valoraban mucho los deportes de equipo como el hockey o el rugby. Lo que a Alan le gustaba y lo que la escuela consideraba importante estaban en desacuerdo desde el principio.

En efecto, Alan estaba muy lejos del alumno modelo que la escuela deseaba. Su caligrafía era torcida y difícil de descifrar, y también era torpe para ordenar sus cosas con prolijidad. Las competencias deportivas colectivas le resultaban aún más difíciles, por lo que rara vez lograba encariñarse con este tipo de juegos.

Se conserva un dibujo que ilustra muy bien este aspecto. Es un dibujo a lápiz realizado en 1923 por su madre, Sara. En el patio de juegos del dibujo, los niños corren persiguiendo la pelota de hockey. Solo Alan, inclinado a cierta distancia del partido, contempla una margarita florecida en el suelo. Sara tituló este dibujo 'Hockey, o contemplar cómo crecen las margaritas'. A los ojos de su madre, su hijo también era un niño más intrigado por cómo crecen las flores que por la pelota. Unos 30 años después, ya como adulto, Turing investigaría matemáticamente la forma y el orden en que se disponen las hojas y las flores a medida que crecen las plantas, y una de las plantas que abordó en esa investigación fue precisamente la margarita.

La razón de sus roces en las clases radicaba en su método de estudio. A Alan le desagradaba memorizar respuestas preestablecidas por otros. En su lugar, buscaba partir de los principios más fundamentales y avanzar paso a paso descubriendo las respuestas por sí mismo. A esta actitud se la suele denominar 'pensar a partir de primeros principios'. Este método tomaba mucho tiempo y a menudo difería del formato de resolución que exigía el profesor. Por esa razón, chocaba con frecuencia en la escuela. Sin embargo, los principios que descubría por sí mismo quedaban firmemente grabados en la mente de Alan.

Hay una historia que ilustra cómo se aplicaba este método fuera del aula. Sucedió cuando el joven Alan salió al campo con su familia. Alan observó durante largo rato el vuelo de las abejas. Tras recolectar néctar de las flores, las abejas vuelan en línea prácticamente recta hacia la colmena. Alan observó la dirección en que volaban las abejas desde varios puntos y luego unió esas direcciones mediante líneas. Supuso que en el lugar donde esas líneas se cruzaran estaría la colmena. En ese punto, Alan halló miel silvestre y se la llevó a su familia. Mientras los adultos solo veían abejas revoloteando, Alan vio una pauta regular en el movimiento de las abejas, la convirtió en figuras geométricas y cálculos, y obtuvo la respuesta.

Esta es la razón por la que Alan parecía diferente a los demás. La mayoría de los niños aprenden y siguen los métodos que les enseñan los adultos. Alan confiaba más en lo que veía con sus propios ojos y en lo que razonaba con su propia cabeza que en las explicaciones de los adultos. Si no existía una palabra, la inventaba; si no disponía de instrumentos de laboratorio, escribía cartas para pedir que se los compraran; y si le surgía una duda, buscaba un libro y lo leía por su cuenta. Ponerle nombre al graznido de las gaviotas, dibujar la trayectoria de la tinta dentro de una pluma y trazar líneas con las rutas de vuelo de las abejas procedían todos del mismo anhelo: el deseo de conocer los fundamentos de cómo funciona el mundo.

Por supuesto, los adultos que criaban y educaban a un niño semejante estaban llenos de preocupaciones. Su madre, Sara, sentía gran inquietud sobre si su hijo podría adaptarse bien a la vida escolar. Dado que el perfil de estudiante que la escuela pretendía formar y los intereses de Alan estaban en desacuerdo, aquella preocupación tenía un fundamento justificado.

En las cartas de su infancia perdura la imagen de un niño que indagaba los principios de las cosas y deseaba experimentar por sí mismo. Más tarde, Turing investigaría qué cálculos puede realizar una máquina y si una máquina puede pensar. Estas preguntas no pueden explicarse únicamente a partir de la soledad de su infancia o de una sola experiencia particular.

A los 13 años, Alan superó el examen común de ingreso y, en 1926, ingresó en la escuela Sherborne, ubicada en el condado de Dorset, en el suroeste de Inglaterra. Sherborne era un internado con varios siglos de historia. Alan dejó Hazelhurst y se dirigió hacia su nueva escuela.

Capítulo 2. La Escuela Sherborne y el viaje en bicicleta de 60 millas (1926–1931)



Figura 2. Reconstrucción del trayecto en bicicleta hacia la Escuela Sherborne.

En la primavera de 1926, Alan Turing, a sus 13 años, se preparaba para ingresar en una nueva escuela. Se trataba de la Escuela Sherborne, situada en la pequeña ciudad de Sherborne, en el condado de Dorset, al suroeste de Inglaterra. La Escuela Sherborne era un internado con siglos de historia, donde los estudiantes comían, dormían y estudiaban en las residencias del recinto escolar. La residencia donde se alojaría Alan era Westcott House.

En el Reino Unido, a este tipo de escuelas se las llama 'public schools'. Por su nombre podría parecer una escuela pública a la que cualquiera puede asistir, pero en realidad se trata de internados privados con matrículas muy costosas. En aquella época, se consideraba que las 'public schools' eran lugares destinados a formar a los talentos que liderarían el país y el imperio. Los estudiantes aprendían latín y griego, estudiaban poesía antigua e historia, y asimilaban las normas y la etiqueta mediante deportes de equipo como el rugby o el críquet. Predominaba un fuerte ambiente que consideraba las matemáticas y las ciencias como asignaturas de un nivel inferior a esos estudios.

Alan permaneció en esta escuela desde mayo de 1926 hasta julio de 1931. Era un estudiante que, en lugar de limitarse a seguir la solución que enseñaba el profesor, prefería analizarlo todo por sí mismo desde el principio, por lo que chocaba con frecuencia con sus maestros. Sin embargo, fue precisamente en este período cuando Alan estudió por su propia cuenta la teoría de la relatividad de Einstein y echó las raíces del pensamiento que más adelante servirían de base para su desarrollo como matemático. Los 5 años que pasó en Sherborne comenzaron con una bicicleta.

2.1. La huelga general y el viaje a la escuela en bicicleta

Por aquel entonces, los padres de Alan vivían en Francia. El nuevo trimestre de la Escuela Sherborne estaba previsto que comenzara el 4 de mayo de 1926. Alan tomó un barco en solitario desde el puerto francés de Saint-Malo, cruzó el canal de la Mancha y llegó a Southampton, una ciudad portuaria del sur de Inglaterra. Si todo hubiera salido según el plan previsto, desde allí sólo habría tenido que tomar un tren para llegar a Sherborne.

Sin embargo, aquel día Gran Bretaña entera se encontraba paralizada. La razón fue que el 4 de mayo de 1926 estalló la huelga general en todo el país. El punto de partida de la huelga fueron las minas de carbón. Cuando los propietarios de las minas intentaron recortar los salarios de los mineros y prolongar sus jornadas laborales, los mineros hicieron frente, y los

trabajadores de otros sectores se solidarizaron con ellos y paralizaron también sus labores. Trabajadores del ferrocarril, conductores de autobús, empleados portuarios e incluso impresores; una multitud de personas no acudió a sus puestos de trabajo. Los trenes se detuvieron y los periódicos no pudieron publicarse con normalidad. Esta huelga se prolongó durante 9 días, hasta el 12 de mayo.

Al no haber trenes en funcionamiento, no existía una forma adecuada de viajar hasta Sherborne. La distancia de Southampton a Sherborne es de unas 60 millas. Según los distintos registros, se menciona de manera ligeramente diferente: 60 millas, 63 millas o 65 millas. Como 1 milla equivale a cerca de 1.6 km, se trata de una distancia cercana a los 100 km, comparable a la ruta que va de Seúl a Cheonan. Es una distancia abrumadora para recorrer en bicicleta en un solo día, incluso para un adulto.

Muchos alumnos esperaron en sus casas a que terminara la huelga. Alan eligió un camino diferente: decidió ir a la escuela en bicicleta. Su madre, Sara Turing, relató este hecho detalladamente años más tarde al escribir la biografía de su hijo. Según aquel testimonio, tras desembarcar en Southampton cerca del mediodía, Alan envió primero un telegrama al preceptor de la residencia, el señor Geoffrey O'Hanlon, comunicándole que llegaría al día siguiente. A continuación, facturó su maleta grande por separado, cogió un mapa y se montó en la bicicleta. Para Alan, era una ruta por la que transitaba por primera vez.

Alan dividió este trayecto en dos días. La razón fue que, cuando él manifestó su intención de viajar en bicicleta, su madre le pidió encarecidamente que no recorriera las 60 millas en una sola jornada. A la madre le preocupaba que su hijo tuviera que asistir a clase a primera hora de la mañana siguiente. Siguiendo ese consejo, Alan pasó la noche a mitad de camino en el Hotel Crown de Blandford. El importe conjunto de la cena, el hospedaje y el desayuno fue de tan solo 6 chelines, y a la mañana siguiente todo el personal del hotel salió a despedirlo. Parece que, a ojos de los empleados del hotel, un muchacho de 13 años que había pedaleado en solitario por caminos desconocidos resultaba un espectáculo extraordinario. Alan dejó constancia de este suceso en una carta dirigida a sus padres.

Alan llegó a la Escuela Sherborne el 5 de mayo de 1926. La anécdota de su llegada a la escuela en bicicleta se publicó incluso en el periódico local.

Este viaje ilustra con claridad qué clase de persona era Alan. No se quedó detenido porque el camino estuviera cerrado. Abrió un mapa, midió las distancias, eligió un lugar para pasar la noche y pedaleó con sus propias piernas. Esta actitud de hallar un método por sí mismo cuando no existía una vía establecida acompañó a Alan durante toda su vida. Sus piernas vigorosas fueron asimismo un valioso patrimonio a lo largo de su existencia. De adulto, Alan se aficionó a las carreras de larga distancia y alcanzó un nivel tan sobresaliente en el maratón que estuvo a punto de clasificarse para el equipo olímpico.

Aquel viaje en bicicleta fue recordado durante mucho tiempo, tanto dentro como fuera de la escuela. Según los escritos de su madre, uno o dos años más tarde, cuando las notas de Alan cayeron por los suelos, el preceptor de la residencia, buscando algo digno de elogio, comentó que, a pesar de todo, este muchacho había llegado hasta allí en bicicleta. Y exactamente 100 años después, en mayo de 2026, alumnos y profesores de las escuelas de la zona de Sherborne recrearon el itinerario de Alan. Recorrieron en bicicleta los 100 km que separan Southampton de Sherborne, llegaron a Sherborne a las 6 de la tarde del 5 de mayo y conmemoraron la fecha con un pequeño desfile por las calles del centro.

2.2. Fricciones entre la educación clásica y el autodidactismo científico

El boletín de calificaciones de su primer trimestre en Sherborne no fue desfavorable. El preceptor, el señor O'Hanlon, describió a Alan como un chico original y sumamente interesante, mientras que el director, Nowell Smith, agregó que se trataba de un comienzo muy satisfactorio. En otros documentos de aquel mismo período figura también la apreciación de que a Alan le gustaba estar solo. El maestro consideró que la causa no residía en un carácter sombrío, sino en su acusada timidez.

Conforme pasaba el tiempo, comenzaron a surgir diversos problemas. Las clases en Sherborne giraban en torno al latín y al griego. El latín era la lengua empleada por los antiguos romanos, y el griego, la hablada por los antiguos griegos. Los estudiantes memorizaban la gramática de ambos idiomas, traducían poemas antiguos y discursos, y componían directamente textos en latín. Alan no encontraba ningún atractivo en memorizar reglas gramaticales fijadas por otros, y en las materias de latín e inglés obtenía con frecuencia calificaciones que rozaban el último puesto de la clase. Su caligrafía era

difícil de descifrar y sus cuadernos estaban llenos de borrones de tinta. Los profesores le reprochaban una y otra vez sus cuadernos sucios y sus desordenados hábitos cotidianos.

Las fricciones aparecieron incluso en las materias predilectas de Alan. A Alan le gustaban las matemáticas, pero no resolvía los problemas siguiendo los métodos expuestos en los libros de texto. Ante un problema planteado, primero examinaba a fondo qué se preguntaba en realidad y luego buscaba la respuesta por un camino ideado por él mismo. Aunque la respuesta fuera acertada, los profesores vacilaban en otorgarle una buena nota por considerar que no se ajustaba al procedimiento establecido. Asimismo, en el laboratorio de química solía recibir llamadas de atención por concentrarse en experimentos ideados por su cuenta en lugar de los encomendados por el profesor.

La escuela observaba a Alan con inquietud, y el director envió una carta a sus padres. En dicha carta, dada a conocer por Andrew Hodges, biógrafo de Alan Turing, figuraban estas palabras: "Espero que no caiga entre dos sillas. Si ha de permanecer en una public school, debe proponerse como meta llegar a ser un hombre culto. Si pretende ser exclusivamente un especialista científico, está perdiendo el tiempo en una public school".

La frase de caer entre dos sillas es un refrán inglés que denota la situación de perder ambas cosas al intentar alcanzar las dos al mismo tiempo. El hombre culto al que aludía el director era un caballero capaz de leer versos en latín y citar las obras clásicas. Bajo ese prisma, Alan, volcado exclusivamente en las matemáticas y las ciencias, resultaba un alumno incompleto. Alan no se plegó al modelo que la escuela pretendía imponerle. Tampoco llegó a enfrentarse abiertamente con ella. Una vez concluidas las clases, regresaba con discreción a los estudios que verdaderamente le apasionaban.

Aquellos estudios se situaban muy por delante de la enseñanza escolar. En 1927, Alan ni siquiera había comenzado a aprender los rudimentos del cálculo infinitesimal en la escuela. El cálculo es una rama matemática destinada a determinar valores tales como la tasa de variación de una cantidad o el área comprendida bajo una curva. Aun así, resolvió problemas matemáticos complejos por sí solo. Llegó incluso a descubrir por su propia cuenta fórmulas para expresar determinado valor como una suma infinita. Eran materias que únicamente alguien que hubiera cursado cálculo en la universidad estaría en condiciones de abordar.

Hacia los 15 años de edad, comenzó a estudiar de forma autodidacta la teoría de la relatividad de Albert Einstein. La teoría de la relatividad, publicada por Einstein en 1905 y 1915, postula que el espacio y el tiempo pueden variar según el movimiento del observador. En aquel entonces, se trataba de una teoría ante cuya dificultad hasta los catedráticos universitarios movían la cabeza con perplejidad. Alan no solo leyó los textos de Einstein y comprendió su contenido, sino que llegó a discernir lo que ni siquiera figuraba de manera explícita en el libro. Descubrió por sí mismo que Einstein ponía en tela de juicio las leyes del movimiento de Newton, las cuales habían servido de cimiento a la física durante más de 200 años.

Alan deseaba compartir con su madre aquello que había asimilado. Cuando cumplió los 15 años y medio, recopiló la teoría de la relatividad capítulo por capítulo en un pequeño cuaderno de cubiertas rojas. Llevaba por título "Compendio de la teoría de la relatividad de Albert Einstein" y alcanzaba una extensión de 31 páginas. Alan regaló este cuaderno a su madre. El cuaderno contenía no solo los fundamentos de la teoría de la relatividad, sino también las reflexiones de Alan sobre el orden y la disposición de ánimo con que debía leerse dicha teoría. Este cuaderno se custodia en la actualidad en el archivo histórico del King's College de la Universidad de Cambridge.

El interés de Alan no se limitó a la teoría de la relatividad. Leyó "La naturaleza del mundo físico", publicado en 1928 por el astrónomo británico Arthur Eddington. Eddington fue el científico que halló pruebas concluyentes a favor de la teoría de Einstein mediante la observación del eclipse solar de 1919. A través de este libro, Alan descubrió la mecánica cuántica. La mecánica cuántica es una nueva física que explica cómo se comporta la materia en el ámbito infinitesimal de los átomos. Hacia 1929, en una carta a sus padres, Alan escribió que deseaba localizar y leer publicaciones sobre la teoría cuántica y la ecuación de ondas del físico austriaco Erwin Schrödinger. Un estudiante de 17 años intentaba adentrarse directamente en las investigaciones más punteras de la física de su tiempo.

A medida que profundizaba en la teoría de la relatividad y en la mecánica cuántica, Alan fue concibiendo profundos interrogantes. Eran preguntas acerca de si el universo se rige exclusivamente con arreglo a leyes predeterminadas, cuál es la relación existente entre la materia y la mente, o qué principios matemáticos gobiernan nuestro cuerpo y nuestro pensamiento. Estas inquietudes lo condujeron más tarde a imaginar la existencia de máquinas pensantes.

2.3. La formación de un intelecto independiente

El hecho de discrepar a menudo con los maestros no significó que la vida escolar de Alan fuera solitaria o deliberadamente díscola. Alan tomó parte en diversas actividades escolares a su manera y fue labrándose poco a poco su propio lugar dentro de la comunidad del colegio.

Esa actitud se refleja desde los primeros documentos posteriores a su ingreso. Durante los primeros 3 trimestres tras ingresar en Sherborne, Alan cantó en el coro de la capilla del colegio. Su registro era el de tiple, la tesitura aguda propia de los muchachos antes del cambio de voz. Participó también en las veladas musicales escolares; en el programa del concierto ofrecido el 20 de diciembre de 1926 figura el nombre de Alan como integrante del coro en calidad de tiple. El 7 de noviembre de 1927 recibió el sacramento de la confirmación en la capilla de la escuela. La confirmación es el rito mediante el cual un creyente cristiano ratifica conscientemente su fe. Aunque pudiera aparentar estar absorto exclusivamente en las matemáticas y las ciencias, Alan vivió plenamente integrado como miembro del colegio, cantando en la capilla y participando en los actos ceremoniales escolares.

En el deporte, sus inclinaciones eran inequívocas. A Alan no le atraían los deportes colectivos como el rugby o el críquet, sino que se decantaba por disciplinas individuales como el golf y las carreras de fondo. Con todo, representó a su residencia y cumplió con su cometido al disputar en 2 ocasiones los encuentros de rugby entre residencias.

Hacia 1928, Alan trabó una estrecha relación con Christopher Morcom, un compañero un curso mayor que él. Ambos compartían largas charlas sobre ciencia y matemáticas, ejerciendo una honda influencia mutua. Morcom fue el primer amigo ante quien Alan abrió verdaderamente su corazón. No obstante, en febrero de 1930, Morcom falleció de manera repentina.

Al alcanzar los cursos superiores, Alan acudió asiduamente a la biblioteca de la escuela. Desde octubre de 1928 hasta mayo de 1931 tomó en préstamo 33 libros de la biblioteca, entre los cuales únicamente 3 eran obras de ficción. El 4 de noviembre de 1930 tomó en préstamo simultáneamente 3 libros de Lewis Carroll, el célebre autor de "Alicia en el país de las maravillas". Lewis Carroll fue a la vez escritor de literatura infantil y un matemático volcado en la investigación de la lógica y la matemática.

Por aquellos días, Alan no se limitó a su estudio individual, sino que fue asumiendo un papel más amplio dentro de la vida del colegio. Con frecuencia ayudaba a otros alumnos con las tareas de matemáticas, labor que el preceptor de la residencia veía con muy buenos ojos. En el trimestre de otoño de 1930 fue designado prefecto de la escuela. Los prefectos eran alumnos mayores encargados de velar por el orden escolar y orientar a los cursos inferiores. En ese mismo trimestre ingresó en 'The Duffers', un círculo de debate estudiantil, donde presentó una ponencia titulada "Otros mundos". Participó igualmente en la sociedad científica 'The Alchemists'.

El estudiante que no seguía los métodos habituales en el aula terminó graduándose tras haber cosechado prácticamente todos los galardones de matemáticas y ciencias de la institución. La nómina de distinciones otorgadas a Alan, recogida en los archivos de la Escuela Sherborne, es la siguiente:

1926: Premio Kirby de Matemáticas para el ciclo inferior

1927: Premio Lyon de Exámenes

1928: Premio Plumptre de Matemáticas para el ciclo intermedio

1930, 1931: Premio Digby de Matemáticas y Ciencias

1930, 1931: Premio Christopher Morcom de Ciencias Naturales

1931: Medalla del Rey en Matemáticas

1931: Beca de graduación Goodman de Westcott House

De entre ellos, el Premio Christopher Morcom de Ciencias Naturales fue un galardón instituido por la familia del difunto Morcom para honrar su memoria. Alan se hizo acreedor a este reconocimiento durante 2 años consecutivos.

Alan se graduó en la Escuela Sherborne en julio de 1931. El juicio de la escuela, que pocos años antes lo contemplaba con desasosiego, había experimentado una transformación sustancial. El director Charles Boughey consignó en su último expediente que Alan era un muchacho admirable y de un talento extraordinario, y manifestó que seguiría con sumo interés los pasos de su trayectoria futura. Valoró asimismo que Alan había sido afectuoso y bondadoso, y que había desempeñado con solvencia sus funciones de prefecto.

El señor O'Hanlon, el preceptor de la residencia que había seguido de cerca a Alan a lo largo de 5 años, le remitió también una carta. En ella le agradecía la colaboración y fidelidad

demostradas por Alan, así como el grato placer de haber compartido ese tiempo. Y le aseguró con firmeza que el apellido Turing sería recordado por largo tiempo mientras perdurara la presente generación.

Mucho tiempo después, en 1966, la Escuela Sherborne bautizó su edificio de ciencias recién ampliado con el nombre de 'Laboratorio Alan Turing'. De acuerdo con los archivos de la Escuela Sherborne, se trató del primer edificio en el mundo en llevar el nombre de Alan Turing. Hoy en día, el nombre de Turing resulta familiar para cualquiera que se adentre en el aprendizaje de la computación y la inteligencia artificial.

Los 5 años transcurridos en Sherborne no constituyeron una etapa fácil para Alan. El colegio aspiraba a formar a un caballero diestro en latín, mientras que Alan buscaba escudriñar por sí mismo y desde los cimientos los principios de las matemáticas y las ciencias. En medio de esa disyuntiva, Alan recibió reprimendas, obtuvo calificaciones deficientes y fue tildado de muchacho raro. Con todo, jamás claudicó en sus convicciones. Leyó en soledad las obras de Einstein y Eddington, cantó en el coro, colaboró en las tareas de sus condiscípulos y fue galardonado en reiteradas ocasiones en las áreas de matemáticas y ciencias. Aquel chico que había recorrido en solitario 60 millas para llegar a la escuela abandonó sus aulas 5 años después, convertido en un joven provisto de un método propio de razonamiento. En octubre de 1931, Alan ingresó en el King's College de la Universidad de Cambridge, emprendiendo una nueva andadura como matemático.

Capítulo 3. Christopher Morcom y la naturaleza del espíritu (1928~1930)



Figura 3. Reconstrucción de Turing y Morcom estudiando juntos.

Alan Turing, que asistía a la Escuela Sherborne, pasaba mucho tiempo solo. En las clases de latín y griego se distraía con otros pensamientos, y resolvía los problemas matemáticos a su propia manera en lugar de seguir los métodos explicados en los libros de texto. Los profesores veían a Turing como un alumno obstinado y distraído, y sus compañeros tampoco comprendían por qué estaba tan fascinado por las sustancias químicas y las constelaciones. Turing rara vez tenía a alguien con quien compartir libremente lo que pasaba por su mente.

En el otoño de 1928, ante Turing, que tenía dieciséis años, apareció un muchacho. El tiempo que pasaron juntos no llegó a 1 año y medio. Sin embargo, este breve encuentro y la repentina separación cambiaron profundamente la vida de Turing. La pregunta a la que Turing se aferró durante toda su vida —qué es la mente humana y cómo están conectadas la mente y el cuerpo— comenzó precisamente en este período.

3.1. El encuentro con el alma gemela

El nombre de aquel muchacho era Christopher Collan Morcom. Morcom nació el 13 de julio de 1911 en «The Clock House», en Fawkbury, condado de Worcestershire, Inglaterra. Era un año mayor que Turing y cursaba un año escolar por encima. La familia de Morcom tenía profundos lazos con la ciencia. Su padre, Reginald Morcom, era un ingeniero que dirigía una empresa de maquinaria, y su abuelo materno, Joseph Swan, era célebre como uno de los científicos que desarrollaron la bombilla incandescente. Su hermano mayor, Rupert, también ingresó en el Trinity College de la Universidad de Cambridge tras ganar el premio de matemáticas en la Escuela Sherborne.

Morcom ingresó en la Escuela Sherborne como becario en mayo de 1925 y residió en un internado llamado Lyon House. Era una residencia diferente a Westcott House, donde se alojaba Turing. Morcom sobresalía en matemáticas y ciencias, y sus conocimientos de astronomía también eran extraordinarios. Por las noches, subía un telescopio a su habitación de la residencia para observar las estrellas y, a partir de esos registros, dibujaba su propio mapa estelar. También le gustaba tomar fotografías y escuchar música.

No era un estudiante dedicado únicamente al estudio. Morcom también era muy travieso; en el trimestre de invierno de 1928, llenó varios globos con gas, les colocó mechas con cordeles encerados y los soltó al viento. También hubo una ocasión en la que fotografió a

escondidas a un profesor que impartía clase y le regaló la foto; el profesor no lo consideró una falta de respeto, sino una muestra de aprecio.

Aquel Morcom tenía una preocupación que nadie más conocía. En su niñez, había contraído tuberculosis bovina al beber leche de vaca infectada con bacterias. La tuberculosis bovina es una tuberculosis que se transmite del ganado vacuno a los seres humanos. A partir de entonces, en la casa de Morcom criaron cabras en lugar de vacas para obtener leche. Incluso durante su primer año en Sherborne, Morcom se sometió a una cirugía mayor y descansó de la escuela durante dos trimestres. Aun así, se puso al día rápidamente con sus estudios y, en 1927, recibió el premio de matemáticas.

Fue en septiembre de 1928 cuando Turing se acercó a Morcom. En ese momento, Turing subió al 6.º curso inferior (Lower Sixth), donde estudiaba matemáticas y ciencias, y comenzó a asistir a las mismas clases que Morcom. Lo que unió a los dos fue una sola pregunta sobre las órbitas planetarias. Aquella conversación continuó durante el descanso de un partido de fútbol, y ambos también dedicaron su interés juntos a los experimentos de química. Los temas de conversación eran inagotables. Pasaban de analizar los componentes de la sal yodada que consumía otro estudiante a discutir sobre la edad de las estrellas.

Las ocasiones en que ambos estudiaban juntos también aumentaron gradualmente. Todos los miércoles por la tarde se reunían en la biblioteca de la escuela para compartir lo que cada uno había investigado, y en los trimestres de primavera y verano de 1929 recibieron clases particulares de química orgánica del profesor de química Andrews. También se cuenta que durante las clases intercambiaban ideas matemáticas escribiendo notas con símbolos que solo ellos dos entendían. Morcom, a quien le gustaba la música, incluso llevó a Turing al club de música de gramófono dirigido por el profesor de matemáticas Epperson.

Para Turing, Morcom fue el primer amigo con el que realmente podía comunicarse. El sobrino de Turing, Dermot Turing, explicó más tarde sobre Morcom que fue la persona que no vio como alguien extraño a un Turing fascinado por las ecuaciones y la astronomía. Sin embargo, eso no significaba que los dos pensarán de la misma manera. Turing priorizaba las ideas brillantes, pero a menudo su conclusión era tosca. Morcom, incluso después de comprender los principios, no se detenía allí, sino que separaba y examinaba minuciosamente cada uno de los pasos del proceso. Cuando el director de la residencia le

preguntó por Morcom, Turing respondió que lo que más admiraba era la rigurosidad de Morcom.

Cómo veía Turing a Morcom también quedó plasmado en una carta que envió más tarde a la madre de este. Turing escribió lo siguiente: "Nunca conocí a nadie tan brillante y, al mismo tiempo, tan encantador y nada presuntuoso. Consideraba mis estudios y mi interés por la astronomía como algo que debía compartir con él". Fue precisamente Morcom quien le enseñó astronomía a Turing.

Los sentimientos de Turing no se detuvieron en la amistad. Turing quería profundamente a Morcom y más tarde recordó este sentimiento como su primer amor. No existen registros de que Morcom conociera los sentimientos de Turing. Morcom trataba a Turing como a un amigo entrañable con quien conectaba intelectualmente. Para el solitario Turing, Morcom fue una presencia que iluminó intensamente el mundo.

En diciembre de 1929, los dos fueron juntos a Cambridge para presentarse al examen de selección de becarios del Trinity College de la Universidad de Cambridge. Durante una semana sintieron el ambiente de la universidad y se imaginaron los días venideros estudiando juntos. Sin embargo, los resultados fueron dispares. Morcom fue seleccionado como becario y estaba previsto que ingresara en el Trinity College en octubre del año siguiente, mientras que Turing no fue admitido. Obligado a permanecer 1 año más en Sherborne, Turing tomó la firme determinación de seguir a su amigo a Cambridge 1 año después.

Ese plan se truncó antes de que pasaran dos meses. La noche del jueves 6 de febrero de 1930, se celebró un concierto del coro Salisbury Singers en el gran auditorio de la Escuela Sherborne, el «Big Schoolroom». Morcom asistió al concierto con amigos, entre ellos Turing. Esa noche fue la última vez que ambos pasaron tiempo juntos.

3.2. Tragedia y dolor repentinos

Aquella noche, tras finalizar el concierto, Morcom se desplomó repentinamente sintiendo un dolor agudo. Al día siguiente, la escuela trasladó a Morcom al Hospital Yeatman de Sherborne para observar su estado. El domingo 9 de febrero trasladaron a Morcom a un hospital de Londres, donde fue sometido a dos operaciones quirúrgicas. La tuberculosis contraída en su infancia había provocado una inflamación en la membrana que envuelve el interior del abdomen y, debido a ello, los intestinos quedaron obstruidos. Tras las cirugías surgieron complicaciones y Morcom finalmente no pudo recuperarse. Al mediodía del 13 de febrero de 1930, Christopher Morcom falleció en una residencia de reposo en el número 19 de Manchester Street, Londres. Morcom tenía dieciocho años y Turing, diecisiete años.

La tuberculosis que le quitó la vida a Morcom es una enfermedad causada por una bacteria llamada bacilo de la tuberculosis que ingresa al cuerpo. Ocurre principalmente en los pulmones, pero también se presenta en los huesos, los intestinos o las membranas del abdomen. Al igual que con la tuberculosis bovina que contrajo Morcom, en el pasado muchas personas contraían tuberculosis al beber directamente leche de vaca contaminada con la bacteria. Hoy en día, la leche se pasteuriza a altas temperaturas y existen medicamentos eficaces, por lo que la mayoría de los casos se pueden tratar. Sin embargo, en 1930 todavía no existían medicamentos para curar la tuberculosis.

Alrededor del momento en que Morcom cayó enfermo, Turing experimentó un suceso extraño. Turing recordó más tarde que, por aquel entonces, una noche se despertó y, mientras miraba por la ventana la luna que se ponía, tuvo el presentimiento de que algo le había ocurrido a Morcom. Esta experiencia, difícil de explicar mediante la ciencia, permaneció durante mucho tiempo en el corazón de Turing.

En la madrugada del 15 de febrero, Morcom fue enterrado en el cementerio de la iglesia Christ Church en Catshill, cerca de su casa natal. Al día siguiente, el 16 de febrero, se celebró un servicio conmemorativo en honor a Morcom en la capilla de la Escuela Sherborne. Toda la escuela quedó sumida en la tristeza por la pérdida de un estudiante sobresaliente.

Ese día, Turing escribió una carta a su madre: "Estoy seguro de que volveré a encontrarme con Morcom en alguna parte. Así como creía que teníamos una labor que hacer juntos aquí,

también habrá una labor que haremos juntos allí. Ahora que he quedado solo para hacer ese trabajo, no debo decepcionarlo. Aunque no sea tan interesante como cuando él estaba aquí, debo esforzarme con la misma energía". En esta carta se reflejaban una profunda tristeza y una nueva determinación. Turing decidió continuar él mismo con los estudios que su amigo no había podido completar.

Turing puso en práctica esa determinación. La primera tarea que asumió fue elegir los libros que recibiría su amigo. La Escuela Sherborne decidió conceder el Premio Digby de Matemáticas y Ciencias del año 1929 al difunto Morcom, y Turing eligió los libros del premio en nombre de Morcom. Los libros elegidos por Turing fueron «La naturaleza del mundo físico» y «La constitución interna de las estrellas» de Arthur Eddington, y «Astronomía y cosmogonía» y «El universo que nos rodea» de James Jeans. Todos eran libros que trataban sobre las estrellas, el cosmos y la nueva física, temas de los que ambos muchachos solían hablar juntos.

En el mismo año de 1930, los padres de Morcom instituyeron en la Escuela Sherborne el «Premio Christopher Morcom» en memoria de su hijo. Este premio no se concedía por las calificaciones de los exámenes. Los profesores de ciencias evaluaban los estudios a lo largo de un año y lo otorgaban al alumno más sobresaliente según su grado de progreso, originalidad y profundidad de comprensión. El galardonado recibía además un retrato de Morcom.

Turing se propuso firmemente ganar este premio. Y en 1930 se convirtió en su primer galardonado gracias a un artículo original que investigaba la reacción química producida por sulfitos y yodatos en solución ácida. También mantuvo su determinación de ir a Cambridge. Concentrado con empeño en sus estudios, Turing volvió a presentarse al examen de becas de Cambridge en diciembre de 1930 y esta vez fue elegido como becario del King's College. Turing volvió a recibir el Premio Morcom en 1931. Al recibir el premio que llevaba el nombre de su amigo durante dos años consecutivos, Turing fue cumpliendo aquella promesa.

3.3. El ensayo «La naturaleza del espíritu»

Tras la partida de Morcom, Turing comenzó a intercambiar correspondencia con la madre de Morcom, Frances Isobel Morcom. La señora Morcom era escultora y pintora. Ella acogió calurosamente a Turing, quien había sido el amigo más cercano de su hijo, y Turing también halló consuelo en la familia de Morcom. Turing tomó prestados el telescopio y la esfera celeste que solía usar Morcom y continuó observando las estrellas. La esfera celeste es un instrumento en cuya superficie esférica están dibujadas las constelaciones del cielo, utilizado para examinar la posición y el movimiento de las estrellas.

Las cartas no cesaron al cabo de uno o dos años. Cada año, tanto el 13 de julio, día del cumpleaños de Morcom, como el 13 de febrero, fecha de su fallecimiento, Turing enviaba una carta a la señora Morcom. Eran cartas que transmitían el sentimiento de no haber olvidado a su amigo. Esta correspondencia continuó durante más de 10 años, hasta que la señora Morcom falleció en 1941. La amistad de los dos muchachos no duró ni 1 año y medio, pero el vínculo entre Turing y la familia de Morcom fue mucho más prolongado.

De este vínculo surgió un escrito. Hacia abril de 1932, 2 años después del fallecimiento de Morcom, Turing ya era estudiante del King's College de la Universidad de Cambridge. En esa época, Turing se alojó en The Clock House, cerca de Bromsgrove, pasando tiempo con la familia de Morcom, y allí escribió un breve texto para la señora Morcom. El título era «La naturaleza del espíritu (Nature of Spirit)». Este manuscrito redactado a mano por Turing se conserva todavía hoy en los archivos del King's College de Cambridge.

Para entender este escrito, primero es necesario conocer los cambios ocurridos en la física por aquel entonces. Durante mucho tiempo, los científicos explicaron el mundo basándose en la física de Newton. Según esta concepción, el universo funciona de acuerdo con leyes fijas, como un reloj gigantesco. Si conocemos la posición y la velocidad de todos los objetos en el presente, podemos calcular sin excepción todo lo que sucederá en el futuro. A este pensamiento se le llama «determinismo». Al ver que los astrónomos predecían con exactitud la fecha de los eclipses solares incluso con décadas de antelación, la gente creía firmemente en esta idea.

Sin embargo, en la década de 1920 surgió una nueva física denominada «mecánica cuántica». La mecánica cuántica es la disciplina que estudia el mundo diminuto de átomos

y electrones. Los científicos descubrieron que en ese mundo microscópico no era posible determinar con exactitud y de forma simultánea la posición y la velocidad de un objeto. Los sucesos que ocurrían en ese mundo diminuto solo podían describirse en términos de probabilidad. «La naturaleza del mundo físico» de Eddington, que Turing había seleccionado en lugar de Morcom, era un libro que explicaba a los lectores generales cómo esta nueva física transformaba la manera de contemplar el mundo.

En «La naturaleza del espíritu», Turing intentó comprender la muerte de su amigo a través de esta nueva física. Lo que aborda en la primera parte del texto es el determinismo. La ciencia tradicional sostenía que, si se conocía la totalidad del estado del universo, se podía predecir el futuro. Sin embargo, al tratar con átomos y electrones, no es posible conocer su estado exacto, ya que los propios instrumentos de medición que utilizamos están compuestos de átomos y electrones. Basándose en este punto, Turing consideró que la idea de que todas las acciones humanas estuvieran predeterminadas, al igual que los eclipses solares, quedaba desmoronada.

Si las acciones no están predeterminadas, queda la cuestión de qué es lo que las determina. Aquí Turing habla de la «voluntad» humana. Turing pensaba que los seres humanos poseen una voluntad que determina el movimiento de los átomos en una pequeña parte del cerebro, o tal vez en todo el cerebro. Y explicó que el resto del cuerpo funciona como un dispositivo que amplifica enormemente este pequeño movimiento. Es similar a un megáfono que amplifica un sonido tenue. El diminuto movimiento de unos pocos átomos dentro del cerebro se amplifica en una gran acción que mueve brazos y piernas. Turing añadió que, como los demás átomos del universo carecen de semejante dispositivo de amplificación, sus movimientos parecen aleatorios.

En la parte central del texto, Turing pasa de la voluntad al espíritu y aborda la relación entre el espíritu y la materia. Apoyándose en las ideas del filósofo de Cambridge McTaggart, Turing consideró que, sin el espíritu, la materia tampoco tiene sentido. Asimismo, pensaba que el espíritu está eternamente ligado a la materia, aunque no siempre permanezca en el mismo cuerpo. Escribió que en el pasado creía que tras la muerte el espíritu podía ir a un universo completamente distinto al nuestro, pero ahora, dado que el espíritu y la materia son inseparables, tal idea carecía de coherencia.

Si el espíritu no puede separarse de la materia, es necesario explicar qué ocurre con el espíritu tras la muerte del cuerpo. Turing intentó encontrar la respuesta en la manera en que el cuerpo y el espíritu están conectados. Un cuerpo vivo, precisamente por estar vivo, atrae al espíritu y lo retiene. Mientras el cuerpo está vivo y despierto, el cuerpo y el espíritu se encuentran firmemente unidos. Turing escribió con franqueza que no podía conjeturar qué sucede durante el sueño. Sin embargo, consideró que, al morir el cuerpo, el «dispositivo» corporal que retenía al espíritu desaparece, y el espíritu no tarda en encontrar, tal vez de inmediato, un nuevo cuerpo.

Al final del texto, Turing se pregunta por qué los espíritus poseen un cuerpo y si acaso los espíritus no podrían vivir libremente y conversar entre sí sin un cuerpo. La respuesta que ofreció Turing es la siguiente: tal vez fuera posible, pero en ese caso no habría nada que hacer. El cuerpo proporciona algo que el espíritu puede cuidar y utilizar. En esta respuesta se refleja el anhelo de Turing por aquellos momentos en que experimentaba y observaba las estrellas junto a Morcom. Para Turing, la vida consistía en compartir pensamientos y trabajar juntos.

«La naturaleza del espíritu» es un texto breve de apenas una página. Sin embargo, en este escrito quedan intactas las huellas del esfuerzo de Turing, a sus diecinueve años, por sobrellevar el dolor de haber perdido a un amigo querido. Para superar la aflicción, Turing no se apoyó únicamente en creencias vagas. Estudió la mecánica cuántica, el conocimiento científico más novedoso de aquella época, y trató de comprender mediante ella la relación entre la mente y el cuerpo. Al haber sido escrito por un estudiante de diecinueve años, contiene aspectos que no coinciden con la perspectiva científica actual. Aun así, en este texto Turing se planteó por sí mismo preguntas sobre problemas para los que nadie conocía la respuesta e intentó resolverlos a través de la lógica.

Las ideas contenidas en este escrito no se mantuvieron inalteradas. A medida que continuaba sus estudios en Cambridge, el pensamiento de Turing fue cambiando paulatinamente. Turing se distanció poco a poco de la creencia en la supervivencia del espíritu tras la muerte y se inclinó hacia la idea de que los movimientos de la mente también podían explicarse mediante la materia y las leyes físicas. No obstante, las preguntas en sí nunca abandonaron a Turing: ¿es posible representar el proceso del pensamiento humano mediante reglas?, ¿se puede crear una mente como una máquina?

En 1936, Turing ideó una máquina imaginaria que representaba el proceso de cálculo humano mediante reglas sencillas. Este concepto, que hoy llamamos máquina de Turing, se convirtió en el fundamento teórico de las ciencias de la computación. En 1950, en su artículo titulado «Maquinaria computacional e inteligencia», abordó la cuestión de si las máquinas pueden pensar. En los escritos que redactó tras perder a Morcom permanecen los pensamientos del joven Turing que reflexionaba sobre la relación entre la mente y el cuerpo. Sin embargo, no se puede afirmar categóricamente que aquellas reflexiones condujeran de forma directa a sus investigaciones posteriores.

Capítulo 4. La libertad en el King's College de Cambridge (1931~1935)



Figura 4. Ilustración que representa a Turing mientras estudiaba en Cambridge.

Alan Turing preparó su equipaje y partió hacia Cambridge en el otoño de 1931, a los 19 años. Los 5 años previos que pasó en la Escuela Sherborne no habían sido fáciles. Sherborne era una institución que valoraba enormemente el latín y el griego, y los profesores veían con ojos de preocupación a Turing, quien solo se concentraba en las matemáticas y las ciencias. Christopher Morcom, el amigo que mejor lo comprendía allí, falleció de tuberculosis en febrero de 1930. Turing comenzó su vida universitaria llevando consigo ese dolor.

El lugar donde ingresó Turing fue el King's College de la Universidad de Cambridge. La Universidad de Cambridge es una de las más antiguas de Gran Bretaña y está compuesta por varios colleges. Un college es una pequeña comunidad donde estudiantes y profesores comen, duermen y estudian dentro de un mismo recinto. Durante los 4 años que pasó en el King's College, Turing encontró por primera vez un espacio donde podía desplegar sus ideas con total libertad. Obtuvo sus primeros logros como matemático y comenzó a aceptar gradualmente quién era. Las ideas que más tarde presentarían al mundo los principios de la computadora también germinaron en esta época.

4.1 Entrada en el King's College

Dos exámenes de becas

Hasta ingresar en el King's College, Turing tuvo que presentarse dos veces al examen de becas. El primer examen tuvo lugar en diciembre de 1929. Turing se presentó junto con Morcom al examen de becas del Trinity College de Cambridge. El Trinity College era el lugar donde había estudiado Isaac Newton y el college al que cualquier estudiante apasionado por las matemáticas deseaba ingresar. Como resultado del examen, Morcom obtuvo una plaza de becario, pero Turing no lo consiguió. Ambos esperaban con ilusión el día en que estudiarían juntos en Cambridge. Sin embargo, dos meses después Morcom falleció, por lo que ese deseo no pudo cumplirse.

Turing permaneció 1 año más estudiando en la Escuela Sherborne y volvió a presentarse al examen en diciembre de 1930. Tampoco esta vez logró ingresar en el Trinity College. En su lugar, el King's College, su segunda opción, lo aceptó como becario. La beca era de 80 libras al año. Se trataba de una suma de dinero que representaba una gran ayuda para costear la matrícula y los gastos de manutención.

Convertirse en becario del King's College tampoco era tarea fácil. Dado que el King's College había reservado durante mucho tiempo numerosas plazas para los graduados de la prestigiosa escuela Eton College, no quedaban muchas vacantes para quienes procedían de otras escuelas. Sin embargo, los examinadores del King's College prestaban más atención a la capacidad del estudiante para pensar por sí mismo que a su habilidad para memorizar fórmulas. Valoraban enormemente a los alumnos que abordaban los problemas por caminos que otros no transitaban. La forma de resolver de Turing, a quien en Sherborne tachaban de estudiante desordenado en sus demostraciones, se convirtió aquí, por el contrario, en una gran ventaja.

Un ambiente académico libre

En octubre de 1931, Turing se convirtió en estudiante del departamento de matemáticas del King's College. El King's College era conocido por su atmósfera libre y tolerante. Entre los académicos que promovían este ambiente se encontraba el economista John Maynard Keynes. Keynes fue la figura que más tarde formuló las teorías que transformaron las políticas económicas de muchos países del mundo. En el King's College, estudiantes y profesores comían juntos en el comedor y compartían ideas sin importar la edad ni el origen familiar. Tampoco consideraban extraño a quien pensara de manera diferente a los demás.

Este entorno encajaba muy bien con Turing. A él no le importaba su forma de vestir y a menudo vacilaba al hablar. En Sherborne solían reprenderlo por tales actitudes, pero en el King's College nadie le reprochaba nada de eso. Sin sentirse intimidado por el juicio ajeno, Turing leía y reflexionaba pasando con total libertad por las matemáticas, la física, la lógica y la filosofía.

Respuestas halladas por cuenta propia

El modo en que Turing estudiaba en esa época puede apreciarse en una carta que escribió el 31 de enero de 1932. Según la carta, Turing demostró por sí solo un problema matemático. Sin embargo, resultó ser un teorema que el matemático polaco Waclaw Sierpiński ya había demostrado. Había llegado a la misma conclusión que un renombrado matemático sin la ayuda de nadie.

Este tipo de situaciones le ocurrió a Turing en varias ocasiones. Tenía la costumbre de intentar resolver los problemas por sí mismo antes de buscar las respuestas en los libros, por lo que a menudo redescubría resultados que otros ya habían obtenido. Era un método que requería más tiempo. No obstante, mediante este enfoque, Turing desarrolló la capacidad de abrir su propio camino en lugar de seguir las sendas ya trazadas por otros. Este hábito de forjar su propio camino lo condujo más tarde a ser elegido fellow.

Preguntas surgidas de libros y conferencias

Que tuviera la costumbre de resolver las cosas por sí mismo no significaba que Turing se alejara de los libros. Leía muchas obras complejas. Estudió «Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica», publicado en 1932 por el matemático de origen húngaro John von Neumann. La mecánica cuántica es la rama de la física que describe lo que ocurre en un mundo diminuto, como el de los átomos. Tras perder a Morcom, Turing se preguntaba qué relación existía entre la mente y el cuerpo, y la mecánica cuántica se vinculaba con esa inquietud. En 1933 leyó «Introducción a la filosofía matemática», del filósofo británico Bertrand Russell. Esta obra indaga sobre qué cimientos se asientan las matemáticas. Estas lecturas sirvieron de base cuando, pocos años después, Turing concibió los principios de la computadora.

Turing también asistía a clases y a reuniones de sociedades académicas. En el otoño de 1933 asistió a las conferencias sobre metodología científica del astrónomo Arthur Eddington, y a finales de ese año realizó una presentación sobre matemáticas y lógica en el Moral Sciences Club, un grupo dedicado al debate filosófico. Entre estas actividades, las conferencias de Eddington dieron origen a su primera investigación de gran envergadura.

Interés por el mundo

A principios de la década de 1930, cuando Turing asistía a la universidad, Europa atravesaba una época turbulenta. Debido a la Gran Depresión, muchas personas perdieron su empleo, y en 1933 Hitler tomó el poder en Alemania. Entre los estudiantes de Cambridge también crecieron las voces contrarias a la guerra y al fascismo. El fascismo es una ideología en la que el Estado aplasta la libertad individual y busca subyugar a otros países mediante la fuerza. Turing también se sumó a este movimiento. En mayo de 1933 se unió a

una agrupación estudiantil llamada Comité Antigüerra, y en noviembre de ese año participó en una protesta contra una película que incitaba a la guerra.

Una graduación brillante

Los estudiantes de matemáticas de Cambridge deben rendir los exámenes de graduación conocidos como Tripos. Es una serie de pruebas famosa por la dificultad de sus problemas. En junio de 1934, Turing obtuvo la calificación máxima en estos exámenes y recibió el título de grado. También obtuvo una distinción especial reservada únicamente a los alumnos con un rendimiento excepcional. Aquel estudiante que en Sherborne causaba preocupación se había convertido en uno de los graduados más destacados del departamento de matemáticas de Cambridge.

4.2 Logros matemáticos independientes

Preguntas nacidas de las conferencias de Eddington

La primera investigación de gran magnitud de Turing comenzó antes de los exámenes de graduación, a partir de las conferencias de Eddington que escuchó en el otoño de 1933. En sus clases, Eddington explicó cómo se dispersan los valores obtenidos mediante mediciones experimentales. Si se mide la longitud de un mismo objeto en repetidas ocasiones, los valores resultan ligeramente distintos. Cuando se superponen múltiples errores pequeños de medición, con frecuencia los valores medidos se concentran en el centro y se vuelven cada vez más escasos hacia ambos extremos. Eddington solo presentó este fenómeno sin demostrarlo a fondo. Turing comenzó a investigar por su cuenta bajo qué condiciones aparece esta distribución de errores.

El secreto de la curva acampanada

El problema que abordó Turing se puede explicar con dados. Si se lanza 1 dado, cualquier número del 1 al 6 aparece con la misma probabilidad. Imaginemos ahora que lanzamos 2 dados y sumamos ambos números. Para que la suma sea 2, ambos dados deben marcar 1. Por el contrario, existen varias combinaciones para que la suma sea 7, tales como 1 y 6, 2 y 5, o 3 y 4. Por ello, el 7 aparece con mayor frecuencia. Aunque cada dado individual no tiene preferencia por ningún número, la suma tiende a agruparse en torno al valor central.

Si aumentamos la cantidad de datos a 10 o 100, calculamos la suma y repetimos este procedimiento innumerables veces para trazar un gráfico, surge una forma muy particular: una curva con forma de campana que es abultada en el centro y desciende progresivamente hacia ambos extremos. Una forma similar puede apreciarse en los errores de medición en los que se suman múltiples factores diminutos. Sin embargo, no siempre se obtiene esta forma simplemente por acumular muchos datos. Los matemáticos denominan a esta curva distribución normal. Dado que el matemático alemán Carl Friedrich Gauss investigó en profundidad esta curva, también se la conoce como distribución gaussiana.

Lo que establece las condiciones bajo las cuales la distribución de una suma se aproxima a una forma de campana es el teorema del límite central. Un ejemplo sencillo es lanzar el mismo dado repetidas veces sin que las tiradas influyan entre sí. Bajo la condición de que cada resultado siga las mismas reglas de probabilidad y que la media y la dispersión sean finitas, al ajustar y comparar el centro y la amplitud de la suma, su distribución se aproxima a una distribución normal. Incluso en casos donde se siguen distintas reglas de probabilidad, este resultado se cumple si se satisfacen ciertas condiciones adicionales. Turing investigó precisamente estas condiciones. Este teorema se utiliza ampliamente en métodos estadísticos para evaluar encuestas de opinión o márgenes de error en resultados experimentales.

Turing completó la demostración de este teorema hacia febrero de 1934. Todavía era un estudiante de grado.

Un teorema que ya había sido demostrado

Sin embargo, había un problema. Este teorema ya había sido demostrado y publicado en 1922 por el matemático finlandés Jarl Waldemar Lindeberg. Turing no supo esto hasta que terminó su demostración. Tal como le había sucedido con Sierpiński, había llegado por cuenta propia a una respuesta que otro ya había descubierto antes.

En la investigación académica, donde se busca descubrir hechos nuevos, presentar un resultado ya conocido no suele recibir una valoración positiva. Sin embargo, los académicos del King's College valoraron más la fuerza del razonamiento que lo condujo a ese resultado que el resultado en sí mismo. El matemático Philip Hall le recomendó a Turing que organizara esta investigación como una tesis de fellowship.

La tesis de fellowship

Tras graduarse, Turing decidió intentar convertirse en fellow del King's College. Un fellow es un investigador elegido directamente por el college. Al ser nombrado fellow, se obtiene una habitación dentro del college, se puede comer junto a los profesores en el comedor y dedicarse plenamente a la investigación percibiendo una remuneración. También se adquiere el derecho de enseñar a los estudiantes. Era un puesto que cualquier joven académico anhelaba.

Para convertirse en fellow, era necesario presentar una disertación de investigación. En noviembre de 1934, Turing presentó un trabajo titulado «Sobre la función de error gaussiana». En este trabajo, demostró el teorema del límite central de principio a fin utilizando su propio método. El matemático Abram Besicovitch, quien evaluó la tesis, consideró que la demostración de Turing era sumamente original. En su informe de evaluación, dejó constancia de que, de haberse publicado antes que la de Lindeberg, habría sido uno de los logros más destacados de ese año en el ámbito de las matemáticas.

La invitación a almorzar de Keynes

John Maynard Keynes también participó en la elección de fellows. Keynes era un académico de enorme influencia en el King's College. El 11 de marzo de 1935, Keynes invitó a almorzar a Turing, que era uno de los candidatos. Ese mismo día le escribió una carta a su esposa, la bailarina Lydia Lopokova. En la carta, Keynes relató que se había reunido en persona con el candidato que parecía más sobresaliente sobre el papel e incluso le había examinado las uñas, concluyendo que era un joven extraordinario y que su nombre era Turing.

Había una razón por la que Keynes le examinó las uñas. Se cuenta que Keynes tenía la costumbre de observar con detenimiento las manos de las personas al conocerlas por primera vez y que no le agradaban quienes se mordían las uñas. Aunque parece una anécdota menor, demuestra claramente el gran interés que un miembro veterano del college sentía por Turing, hasta el punto de reunirse personalmente con un candidato de 22 años. Esta anécdota también aparece en las biografías sobre la vida de Keynes.

Un fellow de 22 años

5 días después, el 16 de marzo de 1935, el King's College eligió a Turing como fellow. Turing tenía 22 años y aún no había transcurrido ni 1 año desde su graduación de los estudios de grado. Llegar a ser fellow a una edad tan temprana era algo muy poco común.

Una vez nombrado fellow, Turing se volcó de inmediato en la investigación. En abril de 1935 envió su artículo «Equivalencia de la casi periodicidad izquierda y derecha» al Journal of the London Mathematical Society. Fue el primer artículo que Turing publicó en una revista académica. Al año siguiente, en 1936, recibió el Premio Smith por su investigación sobre el teorema del límite central. El Premio Smith es una distinción que la Universidad de Cambridge otorga a jóvenes académicos sobresalientes en el campo de las matemáticas.

La investigación sobre el teorema del límite central en sí cayó en el olvido casi por completo después de aquello. La gente no suele recordar a Turing como un matemático que estudió probabilidades y estadística. Sin embargo, los conocimientos sobre probabilidad que acumuló en ese tiempo se emplearon años más tarde, durante la Segunda Guerra Mundial, para descifrar los códigos del ejército alemán. La experiencia de comprender a fondo cómo se acumulan las coincidencias y el azar demostró su poder en un ámbito completamente diferente.

4.3 Libertad académica e identidad homosexual

Un lugar donde no era necesario esconderse

Lo que el King's College le brindó a Turing no fueron únicamente logros matemáticos. Allí pudo observar con honestidad qué clase de persona era. Turing sentía atracción y amor hacia los hombres, no hacia las mujeres. Los sentimientos que había albergado hacia Morcom en sus días en la Escuela Sherborne respondían a esa misma naturaleza.

En la Gran Bretaña de aquella época, esto era algo que debía mantenerse oculto. Las leyes británicas castigaban como delito ciertos actos sexuales entre hombres. La Ley de Enmienda del Derecho Penal de 1885 tipificó como delito punible la «indecencia grave» entre varones, y se aplicaba incluso a los actos cometidos en lugares privados. Si alguien era descubierto, podía perder su empleo e ir a prisión. Por este motivo, la mayoría de las personas que amaban a personas de su mismo sexo vivían ocultando dicha realidad.

El ambiente del King's College era muy distinto del mundo exterior. Varios académicos del college, entre ellos Keynes, no consideraban un problema a quién amaba cada cual. Entre ellos también había quienes sentían atracción por personas de su mismo sexo. Fuera de los muros del college la ley seguía siendo aterradora, pero dentro, entre amigos cercanos, no había necesidad de ocultarse. En medio de esta atmósfera, Turing fue aceptándose poco a poco como homosexual. No se avergonzaba de sí mismo ni intentaba cambiarse por la fuerza. Turing mantuvo esta postura durante toda su vida.

Amigos con los que compartió confidencias

En Cambridge, Turing entabló amistad con personas con las que podía sincerarse. David Champernowne era un becario de matemáticas que había ingresado en el King's College el mismo año que Turing. Sus amigos lo llamaban Champ. Turing confiaba tanto en Champ que llegaba a mostrarle escritos donde plasmaba sus pensamientos más íntimos. Aunque más tarde Champ se convirtió en economista, la amistad entre ambos perduró durante mucho tiempo. En 1948, incluso diseñaron juntos un programa informático para jugar al ajedrez. A este programa lo llamaron Turochamp, combinando los nombres de ambos.

Con su compañero de matemáticas James Atkins, emprendió en 1933 un viaje a pie por el Lake District, en el noroeste de Inglaterra. El Lake District es un hermoso paraje donde se combinan lagos y montañas. A raíz de este viaje, ambos comenzaron una relación afectiva que se prolongó durante varios años.

Turing también mantuvo una estrecha amistad con Fred Clayton, un joven estudioso de las letras clásicas. Al igual que Turing, Clayton se oponía a la guerra y al fascismo. Al relacionarse con amigos con los que compartía una misma visión, Turing amplió su mirada hacia el mundo más allá de las matemáticas.

Deporte y observación de estrellas

A Turing también le gustaba realizar actividad física. En mayo de 1935 compitió y remó como remero del Club de Remo de King's College en una regata. También disfrutaba de correr en solitario durante largas distancias. Correr se convirtió en un deporte que Turing apreció durante toda su vida, y más adelante llegó a correr tan bien como para registrar marcas comparables a las de un maratonista profesional.

Turing tenía además una afición muy singular: observar las estrellas en el cielo nocturno para ajustar su reloj de pulsera con total exactitud. Las estrellas cruzan una posición determinada a una hora determinada. Turing aprovechaba esta regla para corregir el desvío de su reloj. La idea de que el mundo se mueve con arreglo a ciertas leyes fijas, y la labor de descubrir esas reglas para darles una utilidad práctica, fue algo de lo que Turing disfrutó durante toda su vida.

Pensamientos nutridos por la libertad

De este modo, lo que Turing cultivó en el King's College no fue únicamente su destreza matemática. Aprendió al mismo tiempo a confiar en sus propias ideas y a sentir que no pasaba nada por ser diferente a los demás. Aquel muchacho que en Sherborne estudiaba solitario y aislado encontró aquí amigos y mentores. Sin embargo, esta libertad solo podía disfrutarse dentro de los muros del college. Las leyes de la sociedad británica permanecían inalteradas, y esa misma legislación dejaría más tarde un profundo e inmenso dolor en la vida de Turing.

El encuentro con el problema de la decisión

En la primavera de 1935, cuando ya como fellow podía concentrarse plenamente en la investigación, Turing asistió a las clases del matemático Max Newman. El curso se titulaba Fundamentos de las Matemáticas. En estas clases, Newman presentó los teoremas de incompletitud formulados en 1931 por el matemático austriaco Kurt Gödel. El teorema de incompletitud establece que, en cualquier sistema matemático consistente que contenga la aritmética elemental de los números naturales y cuyos axiomas puedan determinarse de forma mecánica, siempre existirán proposiciones verdaderas que no pueden ser demostradas dentro de ese mismo sistema.

Newman también abordó el problema de la decisión planteado por el matemático alemán David Hilbert. El problema de la decisión es una cuestión relativa a la lógica de 1.er orden. La lógica de 1.er orden es un sistema lógico fundamental que trata sobre las propiedades y relaciones de los objetos. Lo que plantea el problema de la decisión es si existe un procedimiento general que permita determinar siempre si un enunciado dado puede ser demostrado mediante reglas lógicas en dicho sistema. Hilbert creía que tal método debía existir. Turing comenzó a profundizar minuciosamente en esta cuestión.

En el verano de 1935, mientras descansaba sobre la hierba tras salir a correr en Grantchester, cerca de Cambridge, Turing meditó a fondo sobre este problema. Fue entonces cuando halló la clave para resolverlo: la idea de descomponer el proceso por el cual un ser humano calcula con lápiz y papel en operaciones sumamente simples. Este razonamiento condujo a su artículo de 1936, «Sobre números computables, con una aplicación al problema de la decisión». La máquina imaginaria que hoy conocemos como máquina de Turing, y la máquina universal que se convirtió en el principio de todas las computadoras, nacieron precisamente en este artículo.

Capítulo 5. Números computables y la máquina universal de Turing (1935–1936)

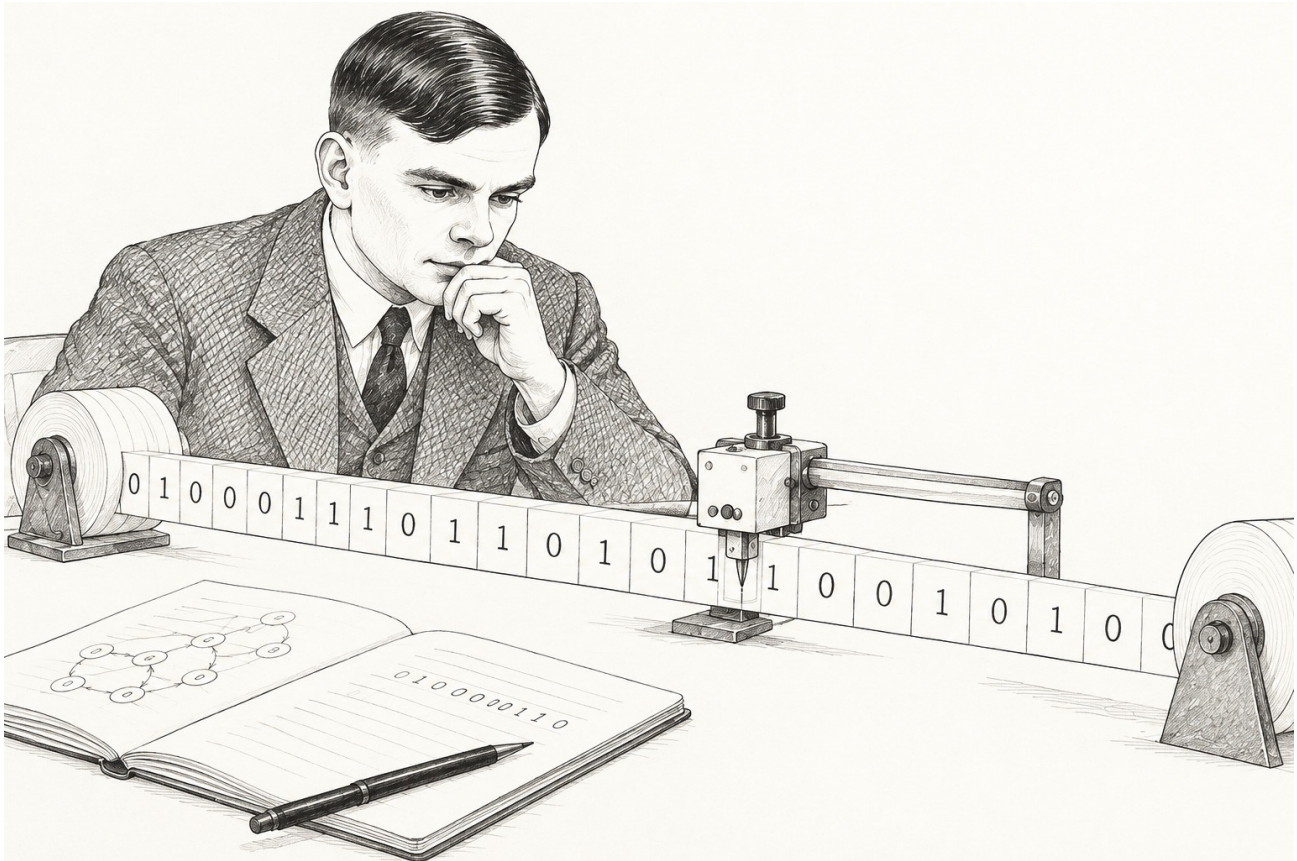


Figura 5. Diagrama conceptual de una máquina de Turing que calcula mediante cinta y reglas.

En marzo de 1935, el King's College de la Universidad de Cambridge eligió a Alan Turing como fellow. En la primavera de aquel año, Turing tenía veintidós años. Como fellow, Turing recibió alojamiento y fondos de investigación del college, lo que le permitió dedicarse plenamente a los estudios que deseaba. En esa misma primavera, Turing se encontró con una pregunta que los matemáticos no habían podido resolver durante mucho tiempo. Para responder a esta pregunta, concibió en su mente una máquina, y este modelo de cálculo sobre el papel se convirtió más tarde en una base fundamental para comprender los principios de las computadoras de propósito general.

5.1. El problema de la decisión de Hilbert

Esa pregunta procedía del matemático alemán David Hilbert. Hilbert fue un académico que lideró diversos campos de la matemática a principios del siglo 20. Quería erigir la matemática como un edificio sin fisuras. Deseaba que, partiendo de unas pocas reglas fundamentales a las que los matemáticos llaman 'axiomas', fuera posible demostrar o refutar cualquier proposición matemática.

Para alcanzar este objetivo, la matemática debía responder a tres preguntas. La primera era si la matemática es completa, es decir, si es posible demostrar todas las proposiciones verdaderas. La segunda era si la matemática carece de contradicciones, es decir, si no puede ocurrir que se demuestren simultáneamente una proposición y su contraria. La tercera era si la matemática es decidible: si existe un método que, para cualquier proposición matemática que se plantee, permita obtener la respuesta de si se puede demostrar o no con solo seguir un orden de pasos establecido.

El problema concreto planteado por Hilbert en relación con la tercera pregunta tiene como objeto las proposiciones de la lógica de 1.er orden. La lógica de 1.er orden es un sistema lógico fundamental que aborda las propiedades y relaciones de los objetos. Este problema plantea si existe un procedimiento que determine siempre si tales proposiciones son demostrables de acuerdo con las reglas lógicas. En alemán se denomina 'Entscheidungsproblem', y en español, 'problema de la decisión'. Hilbert presentó este problema como una tarea crucial de la lógica matemática en un libro de lógica escrito en 1928 junto a su colega Wilhelm Ackermann. Resulta sencillo comprender lo que exige el problema de la decisión si se imagina un manual de instrucciones. Cualquier persona introduce una proposición matemática, sigue al pie de la letra el orden indicado en el

manual y, al final, obtiene la respuesta de 'demostrable' o 'no demostrable'. Si existiera tal manual, los matemáticos no tendrían que devanarse los sesos durante la noche. Bastaría con introducir la proposición y seguir los pasos en orden. Hilbert creía con certeza que un método así aparecería algún día.

Sin embargo, en 1931, el joven matemático austriaco Kurt Gödel resquebrajó el sueño de Hilbert. El 'teorema de incompletitud' publicado por Gödel se aplica a sistemas matemáticos que reúnen ciertas condiciones. Esas condiciones consisten en contener la aritmética elemental de los números naturales, permitir la determinación mecánica de sus axiomas y carecer de contradicciones. Gödel demostró que en un sistema con estas características existen necesariamente proposiciones verdaderas que no pueden demostrarse recurriendo únicamente a las reglas de dicho sistema. Asimismo, reveló que semejante sistema ni siquiera puede demostrar su propia ausencia de contradicciones valiéndose solo de sus propios métodos.

Esto no significaba que Gödel hubiera demostrado que toda la matemática fuera contradictoria. Simplemente se hizo evidente que la respuesta a la primera pregunta de Hilbert era 'no', y en cuanto a la segunda pregunta, quedó al descubierto la limitación de que un sistema exento de contradicciones no puede demostrar por sí mismo su propia consistencia. No obstante, la tercera pregunta, el problema de la decisión, seguía pendiente sin que nadie lograra resolverla.

El lugar donde Turing encontró este problema fue el aula de Max Newman. Newman era un matemático de Cambridge que investigaba tanto la topología —el estudio de las propiedades de las figuras geométricas— como la lógica matemática. En la primavera de 1935, Newman ofreció un curso avanzado titulado 'Fundamentos de la matemática (Foundations of Mathematics)', y Turing asistió a sus clases. Tras explicar con detalle el teorema de incompletitud de Gödel, Newman presentó el problema de la decisión de Hilbert. Y preguntó entonces si existía un 'método mecánico' capaz de indicar si una proposición matemática es demostrable o no.

Un 'método mecánico' alude a un procedimiento en el que no se requiere discurrir con el intelecto, sino limitarse a seguir reglas estipuladas de antemano. La suma en columnas que se aprende en la escuela primaria es un buen ejemplo. Se suman las cifras a partir de las unidades y, si la suma supera 10, se añade 1 a la columna siguiente. Con solo atenerse a las

reglas, cualquiera obtendrá exactamente el mismo resultado. A este tipo de métodos se los conoce como 'algoritmos'.

El problema radicaba en que los matemáticos de la época no habían establecido con exactitud qué era un 'método mecánico'. Aunque todos lo captaban por intuición, nadie lo había formulado con rigor en el lenguaje de la matemática. Para responder afirmativamente al problema de la decisión no hacía falta contar con tal definición, pues bastaba con encontrar y mostrar uno de esos métodos. Sin embargo, para responder que 'no existe semejante método en el mundo', la situación era distinta. Se debían examinar todos los métodos posibles y, para ello, era indispensable determinar primero qué era un 'método'. Es equiparable a decir que ningún atleta puede entrar al campo: primero se debe definir con precisión quién califica como atleta.

Turing se sumió en reflexiones solitarias para abordar esta cuestión. Andrew Hodges, autor de la biografía de Turing, registró una escena de principios del verano de 1935. Mientras paseaba a orillas del río Cam en Grantchester Meadows, cerca de Cambridge, y reposaba recostado sobre la hierba, concibió la idea fundamental. La idea consistía en no definir el 'método mecánico' mediante complejas fórmulas, sino en descomponer lo que una persona hace realmente al calcular en operaciones sumamente reducidas y trasladarlas a los movimientos de una máquina.

5.2. El nacimiento de un artículo histórico

Desde el verano de 1935 hasta la primavera de 1936, Turing investigó prácticamente a solas. Rara vez intercambiaba opiniones con otros colegas. Observaba lo que ocurría en su propia mente como si contemplara de cerca a una persona dedicada al cálculo.

En la década de 1930, el vocablo 'computadora (computer)' no designaba a una máquina, sino a un ser humano. Se llamaba computadores a los oficinistas que pasaban la jornada entera calculando cifras en dependencias públicas u observatorios astronómicos. Turing visualizó a una persona de estas calculando con lápiz sobre un cuaderno de cuadrícula. Al calcular, una persona escribe dígitos en las casillas, los borra, desplaza la mirada a la casilla adyacente y retiene en la memoria lo que está llevando a cabo en ese instante.

En este proceso, Turing conservó únicamente lo imprescindible para el cálculo y lo subdividió en elementos todavía más pequeños. Aunque las casillas de un cuaderno se extienden a lo ancho y a lo largo, unir las en una única hilera longitudinal no perjudica en nada al cómputo. Dado que un ser humano solo puede ver unas cuantas casillas a la vez, a la máquina le basta con examinar una sola casilla por vez. Dado que la memoria humana tiene un límite, a la máquina le es suficiente con almacenar unos pocos estados. También basta con disponer de unos pocos símbolos utilizables.

Así tomó forma la máquina en la imaginación de Turing. Esta máquina se compone de cuatro partes. La primera es la cinta: una larga tira de papel dividida en casillas que puede alargarse indefinidamente hacia ambos lados según sea necesario. En cada casilla se puede escribir un símbolo. La segunda es el cabezal de lectura y escritura, denominado en inglés 'head'. El cabezal se sitúa sobre una casilla de la cinta y lee el símbolo inscrito en ella. Puede escribir un nuevo símbolo o borrar el preexistente, y puede desplazarse una casilla hacia la izquierda o hacia la derecha.

La tercera es el estado de la máquina. Así como una persona recuerda 'ahora estoy haciendo un acarreo', la máquina retiene mediante estados en qué etapa se encuentra en el momento presente. La cantidad de estados es finita. La cuarta es la tabla de reglas: una tabla que recopila normas como 'si el estado actual es A y el símbolo leído por el cabezal es 0, escribe 1 en esa casilla, desplázate una casilla a la derecha y cambia el estado a B'.

La máquina se desplaza paso a paso consultando la tabla de reglas y no efectúa ninguna otra tarea. En su artículo, Turing incluyó como primer ejemplo una máquina que escribe alternadamente 0 y 1 de forma ininterrumpida. Con apenas cuatro estados y cuatro líneas de reglas, esta máquina inscribe en la cinta 0, 1, 0, 1 sin cesar.

Turing denominó a este mecanismo 'máquina-a' (a-machine) en alusión a 'máquina automática (automatic machine)'. La designación de 'máquina de Turing' que empleamos hoy fue introducida por primera vez por el lógico estadounidense Alonzo Church en 1937, en una reseña que presentaba el artículo de Turing.

A simple vista, la máquina de Turing parece modesta. Sin embargo, Turing defendió que esta máquina es capaz de realizar cualquier cálculo que un ser humano pueda efectuar siguiendo reglas. Porque, por muy intrincado que sea un cálculo, en última instancia no es

más que la reiteración continua de leer una casilla, escribir en una casilla, moverse una casilla y cambiar de estado. Aquel 'método mecánico' cuyo significado había quedado indefinido en las clases de Newman fue definido por Turing, en la práctica, como todo aquello que esta máquina es capaz de hacer.

Los 'números computables' que figuran en el título del artículo también fueron definidos a través de esta máquina. Turing llamó número computable a aquel cuyos dígitos decimales pueden ser generados uno a uno sin interrupción por una máquina gobernada por reglas. El número π se prolonga sin fin como 3.14159..., pero una máquina dotada de la tabla de reglas pertinente puede seguir imprimiendo esas cifras una tras otra continuamente. Por consiguiente, π es un número computable. Lo propio ocurre con la constante natural e . Sin embargo, Turing también reveló que existen números que, aunque puedan describirse con palabras, no admiten que ninguna máquina genere sus cifras decimales. Fue el primer indicio de que el mundo de lo computable tiene un confín.

En abril de 1936, Turing mostró a Newman su manuscrito prácticamente concluido. En ese preciso momento llegó una noticia desde Estados Unidos: Alonzo Church, de la Universidad de Princeton, había resuelto el problema de la decisión recurriendo a su propio método, el 'cálculo lambda (λ -calculus)'. Church publicó en 1936 en el *American Journal of Mathematics* su trabajo 'An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory' (Un problema irresoluble de teoría elemental de números), donde demostró que existían problemas de teoría de números insolubles mediante el cálculo lambda, y ese mismo año abordó directamente el problema de la decisión de Hilbert en un breve artículo titulado 'A Note on the Entscheidungsproblem' (Una nota sobre el Entscheidungsproblem). La conclusión de Church fue igualmente: 'no existe semejante método'.

Turing experimentó una profunda desilusión al saber que otra persona se había anticipado en dar la respuesta tras casi 1 año de consagración a esa investigación. No obstante, Newman apreció el artículo de Turing desde otra perspectiva. Aunque el desenlace fuera idéntico, la vía para alcanzarlo había sido distinta. El cálculo lambda de Church constituía un lenguaje abstracto de funciones centrado en la sustitución de símbolos. La máquina de Turing, por su parte, plasmaba fielmente el modo en que calcula una persona, de suerte que cualquiera podía entender qué era un 'método mecánico' como si lo tuviera ante los ojos. Newman remitió una carta a la Sociedad Matemática de Londres explicando que Turing

había investigado en solitario e independientemente de Church, e intercedió enérgicamente para que publicaran su texto. Asimismo, escribió a Church para presentarle a Turing.

El 28 de mayo de 1936, la Sociedad Matemática de Londres dio entrada al artículo de Turing, 'On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem' (Sobre los números computables, con una aplicación al Entscheidungsproblem). Turing contaba entonces con veintitrés años de edad. En agosto de aquel año, añadió un apéndice al término de su escrito. Se trataba de una demostración de que lo computable mediante su propia máquina y lo expresable a través del cálculo lambda de Church eran rigurosamente idénticos. Con ello evidenció que ambos habían ascendido a la misma cumbre por senderos distintos.

La Sociedad Matemática de Londres publicó este artículo en dos entregas, el 30 de noviembre y el 23 de diciembre de 1936, en el volumen 42 de su revista Proceedings of the London Mathematical Society (Boletín de la Sociedad Matemática de Londres). La extensión comprendía un total de 36 páginas. Al año siguiente, en 1937, Turing publicó en la misma revista una breve nota para rectificar pequeños deslices.

Con posterioridad, la comunidad académica unificó las ideas de Church y Turing bajo la designación de 'tesis de Church-Turing'. Esta postula que todo aquello que un ser humano pueda calcular por medio de un método mecánico es computable por una máquina de Turing. La ciencia de la computación contemporánea continúa basándose en este postulado para delimitar el significado de lo que 'se puede computar'.

5.3. El problema de la parada y el prototipo de la computadora moderna

En la sección 6 de su artículo, Turing introdujo la 'máquina universal (universal machine)'.

Las máquinas de Turing revisadas hasta aquí desempeñaban únicamente una labor individual por dispositivo. La máquina que escribe alternadamente 0 y 1 se limitaba en exclusiva a esa tarea, y la máquina que escribe π únicamente generaba π . Si se pretendía sumar, se requería una máquina sumadora específica; si se pretendía multiplicar, una máquina multiplicadora por separado. De igual modo acontecía con los dispositivos de

cálculo del mundo tangible: las calculadoras accionadas por ruedas dentadas solo eran capaces de efectuar la operación fijada al fabricarlas.

Turing dio aquí un paso más allá. El punto de partida radicaba en que la tabla de reglas de cualquier máquina de Turing podía transcribirse, a fin de cuentas, como una hilera de símbolos. Turing pautó un método para convertir la tabla de reglas en una cadena de caracteres y la denominó 'descripción estándar (standard description)'. A la reconversión de esta cadena en una sola cifra de gran magnitud la designó 'número de descripción (description number)'. De este modo, cada máquina individual pasa a quedar cifrada en un único número.

Si una tabla de reglas se puede redactar mediante símbolos, tales símbolos también pueden colocarse sobre la cinta de otra máquina. Valiéndose de esta premisa, Turing proyectó una máquina singular. En el segmento anterior de la cinta de esta máquina se anotan con símbolos las reglas de otra máquina. En el segmento posterior se depositan los materiales con los que dicha máquina va a calcular. La máquina singular lee línea tras línea la tabla de reglas del segmento anterior y reproduce fielmente en el segmento posterior el comportamiento que habría tenido aquella máquina. Si se suministra en la cinta la tabla de reglas de una sumadora, ejecuta la suma; si se introduce la de una máquina de π , escribe π . Turing la llamó 'máquina calculadora universal', conocida en nuestros días como 'máquina universal de Turing'. En su tratado, Turing afirmó que era factible construir una única máquina capaz de calcular cualquier secuencia computable.

Trasladada esta idea a la terminología actual, significa que basta con disponer de una sola máquina física, en tanto que la función a desempeñar la establece el programa. Esta es la razón por la que un único teléfono inteligente puede hacer las veces de calculadora, cámara fotográfica o consola de juegos. Sin necesidad de sustituir las piezas del teléfono inteligente, basta con cambiar de aplicación para que varíe la labor que efectúa. Turing formuló matemáticamente este principio en 1936, con antelación al advenimiento de las computadoras electrónicas de propósito general.

En la máquina universal cabe resaltar un rasgo adicional: inscribe conjuntamente en la misma cinta tanto las 'instrucciones' como los 'datos' valiéndose de idénticos símbolos. En definitiva, las instrucciones son una modalidad más de datos. Las computadoras contemporáneas también operan almacenando conjuntamente el programa y los datos en

una misma memoria. A esta modalidad se la denomina 'arquitectura de programa almacenado'. La máquina universal de Turing es el punto de partida teórico de este principio.

La máquina de Turing de 1936 era un artefacto imaginario que carecía de cinta y cabezal físicos. No obstante, esta concepción imaginaria se transformó muy pronto en realidad. Entre 1945 y 1946, tras la conclusión de la 2.^a Guerra Mundial, Turing diseñó en el Laboratorio Nacional de Física del Reino Unido una computadora electrónica llamada ACE. En junio de 1948, la 'Manchester Baby' de la Universidad de Mánchester ejecutó por vez primera un programa guardado en su memoria. Hoy por hoy, las computadoras portátiles, los teléfonos inteligentes y los ordenadores dedicados a la inteligencia artificial ejecutan múltiples operaciones simplemente modificando su programación. La máquina universal de Turing representa el modelo teórico que da cuenta de esta capacidad de cómputo. La arquitectura tangible y el diseño de componentes de las computadoras reales fueron desarrollados por diversos investigadores e ingenieros.

Volviendo al artículo de 1936, la máquina universal constituyó también la herramienta de la que se valió Turing para dar respuesta al problema de la decisión. Con la máquina universal en sus manos, Turing se dispuso a indagar qué tareas eran irrealizables para una máquina. Y es que, para responder 'no' al problema de la decisión, era forzoso evidenciar al menos un problema que ninguna máquina pudiera solventar.

Turing clasificó inicialmente las máquinas en dos categorías. Por un lado, aquellas que continúan escribiendo cifras decimales indefinidamente; por otro, aquellas que escriben una cantidad finita de ceros y unos (0 y 1) y son incapaces de generar más números. Este último grupo abarca no solo las que se detienen por completo a medio camino, sino también las que, aunque sigan operando, no consiguen producir más cifras. A las primeras Turing las llamó 'máquinas libres de círculos (circle-free machine)' y a las segundas, 'máquinas circulares (circular machine)'. A partir de ahí, se planteó si resultaba factible construir una máquina de decisión que, al recibir el número de descripción de cualquier máquina dada, pudiera determinar en todo momento si se trataba de una máquina libre de círculos o de una máquina circular.

La respuesta de Turing fue tajante: 'es imposible construirla'. La demostración original de Turing en torno a este problema de discriminar entre máquinas circulares y máquinas

libres de círculos se desarrolla de forma bastante compleja. Hoy en día, para ilustrar los límites de la computación, se recurre con frecuencia al afín 'problema de la parada (halting problem)'. El problema de la parada sostiene que es imposible concebir un programa que, dados cualquier programa y entrada arbitrarios, sea capaz de dictaminar siempre si el programa culminará su labor y se detendrá en algún instante, o bien si continuará sin detenerse jamás. En el texto fundacional de Turing no figura la expresión 'problema de la parada'; esta formulación se convirtió con posterioridad en una explicación extendida en la teoría de la computabilidad.

La demostración del problema de la parada se articula del siguiente modo: Supóngase la existencia de una máquina que, al recibir un programa y una entrada, emite invariablemente una respuesta y dictamina con exactitud si la ejecución se detendrá. Valiéndose de esta máquina evaluadora, se construye un nuevo programa que actúa de manera opuesta. Al recibir el número de un programa cualquiera, el nuevo programa consulta a la máquina evaluadora si dicho programa se detendría si se le suministrara ese mismo número como entrada. Si la respuesta es 'se detiene', el nuevo programa opera indefinidamente; si la respuesta es 'no se detiene', se detiene de inmediato. A continuación, se introduce en este nuevo programa su propio número. Si la máquina evaluadora dictamina que se detendrá, el nuevo programa no se detiene; y si dictamina que no se detendrá, se detiene. En cualquiera de los dos supuestos, el pronóstico resulta erróneo. Por consiguiente, la hipótesis inicial de que existe un mecanismo capaz de dictaminar certeramente sobre todo programa y entrada resulta insostenible.

Esta demostración guarda semejanza con la paradoja de la frase: 'Estoy mintiendo en este momento'. Si esta afirmación es verdadera, resulta ser mentira; y si es falsa, deviene en verdad. El autorreferencialismo engendra contradicción. Turing pulió matemáticamente este razonamiento basándose en el 'argumento de la diagonal' formulado por el matemático alemán Georg Cantor al indagar la naturaleza del infinito.

Turing no se detuvo en este punto. Demostró asimismo que dilucidar si una máquina dada llegará a imprimir al menos un 0 en su cinta es un problema insoluble por medios mecánicos. Seguidamente, tradujo este interrogante al lenguaje de los enunciados lógicos examinados por Hilbert. De existir un método mecánico para dirimir el problema de la decisión, dicho método debería servir igualmente para zanjar la incógnita de si 'esta máquina escribe 0'. Mas tal problema no admite solución mecánica. Por ende, no existe

ningún método mecánico capaz de dictaminar en todos los casos la demostrabilidad de una proposición de la lógica de 1.er orden. La conclusión que Turing ofreció al problema de la decisión de Hilbert fue un rotundo 'es imposible'.

Semejante desenlace no solo causó desencanto entre los matemáticos. Conocer qué es incomputable resulta tan provechoso como saber qué es computable. Los programadores de la era contemporánea saben bien que es imposible crear un programa de verificación que detecte exhaustivamente todos los fallos de cualquier código. De ahí que recurran de forma combinada a múltiples rondas de prueba y comprobación. Las investigaciones pioneras de Church y Turing sirvieron de cimiento indispensable para asimilar al unísono tanto el poderío como los confines intrínsecos de la computación.

En septiembre de 1936, Turing cruzó el Atlántico en barco rumbo a Princeton, Estados Unidos. Su propósito era reunirse con Alonzo Church —quien se le había adelantado en resolver el problema de la decisión— para investigar conjuntamente.

Capítulo 6. Estudios en Princeton y la máquina oráculo (1936–1938)

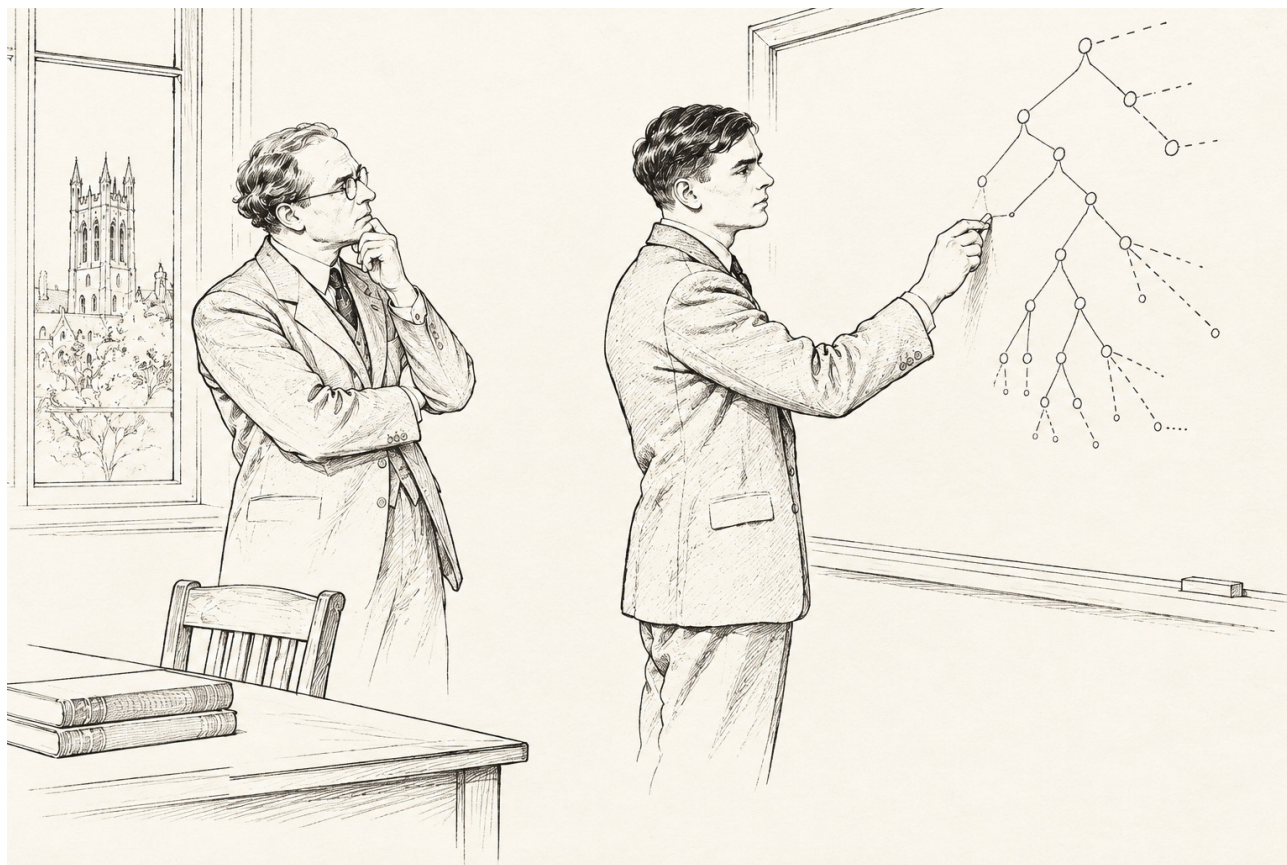


Figura 6. Recreación de su labor de investigación en lógica en Princeton.

En la primavera de 1936, Alan Turing, un joven investigador especial (fellow) del King's College de Cambridge, ofreció una respuesta al problema de decisión de Hilbert mediante una máquina imaginada en su mente. Sin embargo, casi al mismo tiempo, Alonzo Church, un lógico de la Universidad de Princeton en Estados Unidos, llegó a la misma conclusión por un método completamente diferente. Turing se había quedado un paso por detrás. Max Newman, quien había enseñado a Turing en Cambridge, vio esto más bien como una oportunidad. Turing tenía la costumbre de investigar solo, y Newman pensó que podría crecer enormemente si aprendía junto a Church, quien había investigado en profundidad el mismo problema. Newman organizó todo para que Turing pudiera ir a Princeton a estudiar con Church.

En aquel momento, Princeton no era un lugar donde solo estuviera Church. A mediados de la década de 1930, cuando Hitler y los nazis tomaron el poder en Alemania, una sombra oscura se cernió sobre el mundo académico europeo. Académicos destacados que trabajaban en Gotinga, Berlín y Viena cruzaron el Atlántico huyendo de la persecución, y muchos de ellos se establecieron en Princeton, una pequeña ciudad universitaria del estado de Nueva Jersey, Estados Unidos. Al congregarse los mejores matemáticos del mundo en la Universidad de Princeton y en el recién inaugurado Instituto de Estudios Avanzados, Princeton se convirtió en la nueva capital de las matemáticas.

Los estudios en Princeton que comenzaron así se prolongaron durante casi dos años, desde septiembre de 1936 hasta el verano de 1938. Durante este período, Turing obtuvo su doctorado, propuso la nueva idea de la máquina oráculo y construyó con sus propias manos una máquina eléctrica. Y al final, tomó una decisión importante que cambió el rumbo de su vida.

6.1. Investigación con Church y doctorado

A finales de septiembre de 1936, Turing cruzó el Atlántico a bordo del barco de pasajeros Berengaria. Turing no se quedó quieto ni siquiera en el barco. Midió la altura del sol y de las estrellas con un instrumento llamado sextante y calculó por sí mismo por dónde navegaba el barco en ese momento. El sextante es un instrumento que los antiguos marineros utilizaban para determinar su posición en el mar. Turing le relató esto en una carta a su madre, Sara Turing. Era un rasgo muy propio de Turing, a quien desde la infancia le gustaba construir y comprobar cualquier cosa por sí mismo.

Al llegar a Nueva York, Turing se instaló en la residencia de posgrado de la Universidad de Princeton. En aquella época, el departamento de matemáticas de Princeton se encontraba en un edificio llamado Fine Hall. El departamento de matemáticas de la universidad y el Instituto de Estudios Avanzados compartían este edificio, y cada tarde se celebraba la hora del té. Los académicos se reunían con una taza de té en la mano y conversaban libremente sobre problemas matemáticos. El 6 de octubre de 1936, en una carta enviada a su madre, Turing escribió los nombres de los académicos que había conocido allí: John von Neumann, Hermann Weyl, Richard Courant, Godfrey Hardy, Albert Einstein, Solomon Lefschetz y su director de tesis, Alonzo Church. Los académicos cuyos nombres figuraban en los libros de texto estaban justo a su lado.

Turing comenzó su doctorado bajo la dirección de Church. Ambos respondieron al mismo problema, pero sus métodos para abordar el cómputo eran diferentes. Church investigó el cómputo mediante un método llamado cálculo lambda. El cálculo lambda es un método para construir funciones y calcular únicamente a partir de símbolos y reglas. Turing resolvió el mismo problema imaginando una máquina que leía y escribía celda por celda sobre una cinta. Los caminos fueron distintos, pero el destino al que llegaron ambos fue el mismo.

Sin embargo, la vida en Princeton no fue deslumbrante desde el comienzo. En diciembre de 1936, por sugerencia de Church, Turing presentó su artículo "Sobre números computables" en el club de matemáticas. No obstante, no acudió mucha gente a escuchar la conferencia. Esto se debió a que todavía eran pocas las personas que conocían el nombre de Turing. Turing se sintió decepcionado, pero no interrumpió su investigación.

Quien puso de manifiesto con claridad las ventajas del método de Turing fue Church. Church reconoció que el método de Turing era mucho más fácil de entender e intuitivo. En 1937, en una reseña del artículo de Turing, Church llamó por primera vez máquina de Turing a la máquina imaginada por Turing. Así surgió este nombre que hoy aparece en los libros de texto de informática de todo el mundo.

Por aquel entonces, los matemáticos descubrieron que el alcance de lo que podían calcular el cálculo lambda de Church, las funciones recursivas perfeccionadas por Kurt Gödel y la máquina de Turing era exactamente el mismo. Las funciones recursivas son un método que parte de funciones simples y aplica repetidamente reglas determinadas para construir

funciones más complejas. Era como si tres personas hubieran ascendido por caminos distintos y todas hubieran alcanzado la misma cumbre de la montaña. Dado que tres métodos con puntos de partida completamente diferentes llegaron al mismo alcance, los matemáticos concluyeron que todo lo que un ser humano puede calcular siguiendo un procedimiento determinado también puede calcularse con una máquina de Turing. A esta idea se la conoce como la tesis de Church-Turing. Así se hizo posible comparar diferentes métodos de cómputo bajo un único criterio.

La investigación de Turing no se limitó a la lógica. También investigó otra rama de las matemáticas: la teoría de grupos. La teoría de grupos es un campo que estudia objetos que se agrupan bajo ciertas reglas, como los números o las simetrías. Turing publicó los resultados de esas investigaciones en varios artículos.

Los frutos del primer año obtuvieron una valoración muy positiva. La Universidad de Princeton eligió a Turing como Jane Eliza Procter Visiting Fellow para el segundo año, que abarcó de 1937 a 1938. Gracias a esta distinción, Turing pudo dedicarse por entero a la investigación sin preocuparse por la matrícula ni por los gastos de manutención. Los registros de la IEEE Computer Society también consignan que Turing pasó dos años en Princeton, de 1936 a 1938, y que durante el segundo de ellos fue becario de investigación Procter e investigó junto con Church.

6.2. La máquina oráculo y la lógica ordinal

Para comprender el problema que Turing trató en su tesis doctoral, es necesario remontarse primero a 1931. Aquel año, el joven matemático austríaco Kurt Gödel demostró un hecho que estremeció a la comunidad matemática. Demostró que en cualquier sistema de reglas que pueda abarcar la aritmética elemental, como la suma y la multiplicación de números naturales, cuyas reglas sean lo bastante precisas como para que una máquina pueda enumerarlas una por una, y que no contenga contradicciones en sí mismo, quedará siempre y de manera inevitable una proposición que es verdadera pero que no puede demostrarse recurriendo únicamente a esas reglas. A esto se le llama el teorema de incompletitud de Gödel.

Los axiomas de semejante sistema matemático pueden compararse con el reglamento de un juego. En un sistema que reúne las condiciones descritas anteriormente, quedan

proposiciones que no pueden decidirse únicamente mediante el reglamento. Siendo así, cabe pensar en la opción de añadir una regla más para resolver esa situación. Turing investigó precisamente este método a fondo. Al añadir como regla nueva aquella proposición verdadera que no se podía demostrar, el reglamento se vuelve algo más potente. No obstante, dado que el nuevo reglamento conserva exactamente las mismas condiciones previas, vuelve a surgir en él una proposición indemostrable. Entonces se añade nuevamente. De esta manera, el reglamento va creciendo de forma continua, paso a paso.

Estas etapas se suceden sin fin, como 1, 2, 3. Sin embargo, Turing no se detuvo ahí. El matemático alemán Georg Cantor consideró que incluso al infinito se le podía asignar un orden correlativo. Se llama omega a la primera posición que sigue después de haber recorrido todos los números 1, 2, 3, y a la siguiente se la llama omega más 1, y así sucesivamente. A este orden que se prolonga más allá del infinito se le denomina ordinal transfinito. Turing concibió un sistema que ampliaba el reglamento infinitamente siguiendo estos ordinales, y lo llamó lógica ordinal. Y analizó si con un reglamento que se reforzaba de manera interminable resultaba posible colmar las lagunas evidenciadas por Gödel.

El resultado no fue perfecto. El propio Turing reconoció que ni siquiera este método permitía colmar limpiamente todas las lagunas. Sin embargo, en ese proceso dejó reflexiones fundamentales sobre la forma de pensar de los matemáticos. Turing consideraba que en el razonamiento matemático intervienen dos facultades de manera conjunta: una es el ingenio y la otra es la intuición. El ingenio es la capacidad de desarrollar una demostración paso a paso siguiendo reglas establecidas. Esta tarea puede ser realizada por una máquina, como la máquina de Turing. La intuición es la capacidad de discernir de un vistazo qué regla nueva conviene incorporar y qué proposición es verdadera. Turing explicó que, a la luz del teorema de Gödel, no es factible consumir la totalidad de las matemáticas valiéndonos únicamente del ingenio, y que en algún punto se vuelve indispensable la intuición. El interrogante sobre en qué se diferencia el pensamiento de una máquina del de un ser humano acompañaría a Turing a lo largo de toda su vida.

Hay otra parte de este trabajo que hoy en día es la más célebre: la máquina oráculo. El propio Turing se limitó a emplear la máquina oráculo como una herramienta transitoria para facilitar las demostraciones del artículo, sin profundizar más en ella. El término

oráculo alude a los profetas de los templos de la antigua Grecia a quienes se consultaba la voluntad divina, es decir, el oráculo o vaticinio. Turing imaginó que junto a una máquina de Turing ordinaria se acoplaba un asistente semejante a un oráculo. Un oráculo es un dispositivo hipotético que proporciona una respuesta exacta a un tipo predeterminado de preguntas. Como ejemplo contemporáneo, puede pensarse en un oráculo que responde al problema de la parada de un programa común: se asume que, al suministrarle un programa y una entrada, indica si este se detendrá en algún momento. Se trata de un modelo concebido para examinar hasta qué punto se pueden resolver problemas que una máquina de Turing ordinaria no puede contestar en todos los casos, si se cuenta con semejante ayuda.

El modo de funcionamiento de la máquina oráculo es simple. En condiciones habituales, computa leyendo y escribiendo en la cinta al igual que una máquina de Turing ordinaria. Luego, cuando según la tabla de reglas llega el momento de interrogar al oráculo, le formula el tipo de pregunta estipulado, recibe la respuesta y prosigue con el cómputo. El oráculo no es un dispositivo hallado en la realidad, sino un supuesto metodológico para la investigación. Por ende, aquí no se detallan los principios físicos que producen dicha respuesta.

Esta hipótesis abrió una nueva senda en las matemáticas. Gracias a la máquina oráculo, los matemáticos pudieron formular nuevas preguntas. Si se dispone de un ayudante que brinda la respuesta al problema A, es posible dilucidar si con esa asistencia también puede resolverse el problema B. A esto se le llama computabilidad relativa. Comparándolo con un examen de matemáticas, se asemeja a verificar si conocer la solución del ejercicio anterior permite resolver el siguiente. De este modo, se puede comparar la potencia de cómputo entre distintos problemas. No obstante, no todos los problemas pueden ordenarse en una sola escala lineal. Existen relaciones en las que ninguno de los dos problemas puede resolverse utilizando las respuestas del otro.

Turing demostró que la adición de un oráculo no elimina las limitaciones intrínsecas del cómputo. Explicado mediante el problema de la parada contemporáneo, no siempre es factible determinar si todos los programas que emplean un oráculo específico se detendrán valiéndose exclusivamente del auxilio de ese mismo oráculo. Aun cuando se incorpore un tipo de ayuda, subsisten problemas que escapan a su alcance.

Fueron los académicos posteriores quienes desarrollaron sustancialmente esta idea que Turing solo había tocado al pasar. De las investigaciones de lógicos como el estadounidense Emil Post surgieron nociones como los grados de Turing, que clasifican el grado de dificultad de los problemas por niveles, y la reducibilidad de Turing, que consiste en resolver un problema transformándolo en otro. Las metodologías que los informáticos emplean hoy para comparar la dificultad de los problemas se fundamentan asimismo en esta noción.

Turing concluyó su tesis y la remitió a la Sociedad Matemática de Londres a finales de mayo de 1938. Y en junio de 1938, obtuvo el doctorado en la Universidad de Princeton. El título de la disertación fue "Sistemas de lógica basados en ordinales". Tras ser revisado, este artículo vio la luz en 1939 en el volumen 45 de las Actas de la Sociedad Matemática de Londres (Proceedings of the London Mathematical Society), con una extensión de 68 páginas.

6.3. La decisión de regresar

En Princeton, Turing no se limitó a enfrascarse exclusivamente con el papel y el lápiz. Sus inquietudes intelectuales se proyectaban más allá de la lógica, y una de ellas eran los códigos secretos. En una carta del 14 de octubre de 1936, remitida poco después de su llegada a Princeton, figura un pasaje sumamente interesante: Turing sentía curiosidad por saber cuál era la forma más general de un cifrado y comunicó a sus padres que estaba proyectando un sistema criptográfico que resultara arduo de descifrar para terceros pero que pudiera generarse con rapidez. En aquel entonces, nadie sospechaba que este interés conduciría a Turing al corazón mismo del conflicto bélico pocos años después.

Turing no dejó sus proyectos meramente plasmados en el papel. Desde su infancia había sido un muchacho aficionado a reparar plumas estilográficas y a fabricar por su cuenta instrumental para experimentos químicos. En Princeton conservó intacto ese hábito. Turing solicitó el taller mecánico del departamento de física y construyó con sus propias manos relés para emplearlos como conmutadores.

El relé era un interruptor eléctrico utilizado por aquel entonces en las centrales telefónicas. Cuando circula corriente eléctrica, un pequeño electroimán atrae una lámina metálica y cierra el circuito; al interrumpirse la corriente, la lámina se separa y el circuito se abre. Solo

existen dos estados: encendido y apagado. Turing reparó en que estos dos estados podían interpretarse como los dígitos 1 y 0. Al método de representar la totalidad de los números utilizando exclusivamente las cifras 0 y 1 se le denomina sistema binario. Turing comenzó a construir una máquina capaz de efectuar multiplicaciones en binario interconectando relés mediante cables y soldaduras. Llegó a completar materialmente tres o cuatro etapas de la máquina total. El biógrafo Andrew Hodges señala que este multiplicador guardaba conexión con la idea de Turing de multiplicar números grandes para confeccionar claves criptográficas. De este modo, Turing alternó la investigación abstracta del cómputo con la experimentación física dirigida a crear dispositivos de cálculo.

Por aquellos días, Turing también prestó atención a un antiguo enigma matemático: la hipótesis de Riemann. La hipótesis de Riemann es un problema vinculado al patrón con el que se dispersan los números primos. Un número primo es un número natural mayor que 1 que solo admite división exacta por 1 y por sí mismo, y la hipótesis de Riemann continúa irresuelta hasta el día de hoy. Turing concibió una máquina que realizara mediante ruedas dentadas los cálculos pertinentes a este problema y, tras regresar a Gran Bretaña, en 1939 trazó los planos y empezó a labrar los engranajes. El estallido de la guerra impidió que esta máquina pudiera terminarse.

Entre quienes siguieron de cerca el trabajo de Turing en Princeton se hallaba John von Neumann. Von Neumann era un matemático de origen húngaro que pasaría a la posteridad por haber formulado la arquitectura de los ordenadores modernos. Ambos se habían conocido por primera vez en Cambridge en 1935, y Turing retomó el trato con él en Princeton. Von Neumann apreció con particular interés que Turing hubiera obtenido conclusiones novedosas incluso en la teoría de grupos continuos, su propia área de especialidad.

En 1938, hacia el final de los estudios doctorales de Turing, von Neumann le formuló un ofrecimiento: permanecer en los Estados Unidos desempeñándose como su asistente de investigación en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. Se trataba de una plaza que brindaba un entorno de investigación privilegiado, la colaboración con eruditos de talla mundial y un porvenir asegurado. El padre de Turing, Julius Turing, también anhelaba que su hijo abandonara una Europa progresivamente peligrosa para radicarse en Estados Unidos.

Sin embargo, Turing declinó el ofrecimiento. El 17 de mayo de 1938, en una carta dirigida a su madre, le participó que, pese a habersele propuesto el puesto de asistente del profesor von Neumann, lo había rechazado y había resuelto volver a Cambridge.

Concurrieron diversos motivos para que Turing resolviera regresar. En primer término, el panorama político en Europa se degradaba con celeridad. En marzo de 1938, Hitler anexionó Austria a Alemania y acto seguido amenazó a Checoslovaquia. Una multitud de personas presagiaba la inminencia de una gran conflagración bélica.

En segundo lugar, el King's College de Cambridge constituía el verdadero hogar académico de Turing. Era el recinto que, gracias a su talante liberal, le había brindado la posibilidad de ser auténticamente él mismo. En la primavera de 1938, el King's College le prorrogó la condición de fellow. La publicación para antiguos alumnos de Princeton refiere asimismo la profunda morriña que Turing sentía por su tierra. Un diccionario biográfico consigna que Turing prefirió retornar aun a sabiendas de que no disponía de plaza docente alguna esperándole en Cambridge.

En el verano de 1938, Turing regresó a Cambridge en posesión de su título doctoral. Lo que aguardaba su llegada no se reducía a las aulas de matemáticas. La Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras (Government Code and Cypher School), el organismo criptográfico secreto del gobierno británico, convocó a Turing para aprestarse ante la inminente contienda contra Alemania. Tras retornar a su patria, Turing recibió allí adiestramiento en criptoanálisis y comenzó a prestar sus servicios bajo la más estricta reserva. La curiosidad por los códigos cifrados que había manifestado por carta desde Princeton estaba a punto de transformarse en un cometido del que pendía el destino de la nación.

A lo largo de los dos años transcurridos en Princeton, Turing compatibilizó las indagaciones teóricas en lógica con la experimentación práctica en dispositivos de cómputo. Su tesis doctoral, elaborada junto a Church, y la máquina oráculo demostraron la existencia de infinitos estratos entre lo computable y lo no computable. El multiplicador de relés manufacturado por sus propias manos en el taller de física constituyó el paso inicial para plasmar un artefacto concebido en la imaginación en un dispositivo tangible. Y la decisión de declinar la oferta de von Neumann y regresar a Gran Bretaña condujo a Turing a Bletchley Park y a su histórica contienda contra el cifrado Enigma.

Capítulo 7. La llegada a Bletchley Park y el comienzo de la guerra criptográfica (1938–1940)



Figura 7. Ilustración que representa a los investigadores congregados en Bletchley Park.

Tras obtener su doctorado en la Universidad de Princeton en Estados Unidos, Alan Turing regresó al Reino Unido en el verano de 1938. Con 26 años, era fellow del King's College de la Universidad de Cambridge. Un fellow es un académico que reside en la universidad, investiga y enseña a los estudiantes.

En la Europa a la que regresó, se cernía una densa atmósfera de guerra. El líder de Alemania, Hitler, se había anexionado Austria en la primavera de ese año y a continuación exigió tierras de Checoslovaquia. En septiembre, el Reino Unido y Francia firmaron un acuerdo con Hitler en Múnich, Alemania, y acordaron ceder parte del territorio checoslovaco a Alemania. Fue una decisión tomada para evitar la guerra, pero muchas personas sintieron que una gran contienda no tardaría en estallar.

Por esa época, también se produjo un cambio en el trabajo de Turing. Hasta entonces, había sido un matemático tranquilo que escribía fórmulas frente a la pizarra e investigaba máquinas imaginarias. Sin embargo, el gobierno británico quiso encomendarle la tarea de descifrar los códigos del enemigo, y Turing asumió una misión secreta de la que no podía hablar con nadie. Esa misión comenzó en el proceso en el que la agencia de cifrado del gobierno preparaba personal y lugares ante la inminencia de la guerra.

7.1. El llamado de la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras

Para ganar una guerra, primero hay que saber qué pretende hacer el enemigo. Al entrar en el siglo 20, los ejércitos intercambiaban órdenes mediante comunicaciones por radio. Dado que cualquiera podía interceptar las ondas de radio, los ejércitos enviaban sus mensajes convertidos en códigos cifrados. El bando contrario debía descifrar esos códigos para conocer los planes del enemigo. Esta lucha que se libra en lugares invisibles se denomina guerra criptográfica.

El organismo encargado de esta labor en el Reino Unido era la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras. Su nombre en inglés era Government Code and Cypher School, y se abreviaba como GC&CS. Aunque la palabra escuela figuraba en su nombre, no era un lugar para enseñar a estudiantes, sino una agencia de inteligencia que descifraba en secreto los códigos de otros países. Es la predecesora del actual organismo de inteligencia británico, el Cuartel General de Comunicaciones del Gobierno (GCHQ). Esta institución se fundó en

1919, y Alastair Denniston, un exoficial de la marina, se desempeñó durante mucho tiempo como su director operativo.

A medida que la guerra se aproximaba, la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras tuvo que preparar dos cosas. Una era el personal para hacer frente a los nuevos códigos, y la otra era un lugar donde trabajar de forma segura incluso durante la guerra.

Primero estaba la cuestión del personal. Por aquel entonces, la mayoría de los criptoanalistas de la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras eran filólogos clásicos. Eran personas que habían estudiado lenguas antiguas como el latín y el griego, y destacaban por intuir el significado de palabras y oraciones. Sin embargo, el ejército alemán utilizaba una máquina de cifrado llamada Enigma. A diferencia de los códigos creados por personas con papel y lápiz, Enigma mezclaba las letras innumerables veces mediante circuitos eléctricos y ruedas. Denniston juzgó que las habilidades lingüísticas por sí solas no bastaban para vencer a esta máquina. Elaboró una lista de emergencia de personas a las que convocar tan pronto como estallara la guerra. En la lista figuraban matemáticos, lógicos y destacados jugadores de ajedrez de Cambridge y Oxford. Denniston los llamaba 'gente de tipo profesor'. Que el Reino Unido reuniera a tantos matemáticos para el desciframiento de códigos era algo muy poco común hasta entonces.

Turing fue seleccionado por la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras en 1938. Participó en un curso de formación especial organizado por la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras. Habitualmente continuaba sus investigaciones en Cambridge, mientras que de vez en cuando visitaba la sede en Londres para consultar con expertos en criptografía. Para Turing, la criptografía no era un campo desconocido. Desde su época de estudiante, había tenido un gran interés por los códigos y los símbolos. En Princeton, incluso construyó con sus propias manos una pequeña máquina que realizaba multiplicaciones mediante interruptores eléctricos. En el artículo que publicó en 1936, concibió una máquina imaginaria que leía y escribía símbolos siguiendo reglas. Su capacidad para manejar máquinas, símbolos y reglas de manera simultánea resultaba perfecta para combatir a Enigma.

A continuación estaba la cuestión del lugar. Dado que Londres podía ser bombardeada en caso de guerra, se necesitaba un lugar seguro en el campo al que trasladar la agencia de cifrado. En mayo de 1938, el almirante Hugh Sinclair, jefe del Servicio Secreto de

Inteligencia británico (MI6), compró una mansión rural y terrenos en Buckinghamshire, al noroeste de Londres. Cuando el gobierno dijo que no disponía de presupuesto, él aportó 6,000 libras de su propio dinero. El nombre de la mansión era Bletchley Park. Bletchley se encontraba entre Oxford y Cambridge, y al estar cerca de una estación de tren y de carreteras principales, resultaba idónea para reunir a académicos de ambas universidades.

En el otoño de ese mismo año, miembros de las agencias de inteligencia y de la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras se congregaron en Bletchley Park. Para ocultar su identidad, se llamaron a sí mismos 'la partida de caza del capitán Ridley' e incluso llevaron a un cocinero de un hotel de lujo de Londres para aparentar ser huéspedes que disfrutaban de un fin de semana. En pleno apogeo de la crisis de Múnich, realizaron pruebas reales de trabajo criptográfico en este lugar para prepararse ante la guerra. Más tarde, la gente también llamó a Bletchley Park con el nombre en clave de 'Estación X'. Aquí, la X no es la letra del alfabeto, sino el número romano 10.

El personal y el lugar preparados de este modo se pusieron en uso real a finales del verano de 1939. La Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras abandonó Londres el 15 de agosto y se trasladó a Bletchley Park. El 1 de septiembre, las fuerzas alemanas invadieron Polonia, y dos días después, el 3 de septiembre, el Reino Unido declaró la guerra a Alemania. Había estallado la Segunda Guerra Mundial. Al día siguiente de la declaración de guerra, el 4 de septiembre de 1939, Turing se presentó en Bletchley Park y comenzó a trabajar. Alquiló una habitación en la 'posada Crown', en Shenley Brook End, un pequeño pueblo al oeste de Bletchley, y vivió allí hasta el verano de 1944.

Todas las personas que llegaron a Bletchley Park firmaron una declaración de conformidad con la 'Ley de Secretos Oficiales'. Era la promesa de no contar ni a sus propias familias lo que vieran y escucharan allí. Turing mantuvo esta promesa hasta el final. Por ello, lo que hizo durante la guerra solo comenzó a revelarse al mundo poco a poco en la década de 1970, unos 20 años después de su muerte.

7.2. El legado de Dilly Knox y la Oficina de Cifrado de Polonia

Al llegar a Bletchley Park, Turing se incorporó a la sección de investigación de Enigma dirigida por Dilly Knox. El verdadero nombre de Knox era Alfred Dillwyn Knox. Era un erudito que había estudiado literatura griega antigua en el King's College, al igual que Turing, y un veterano experto que descifraba códigos enemigos desde la Primera Guerra Mundial. Durante la guerra civil española en 1937, se hizo famoso al descifrar la máquina Enigma utilizada por la armada italiana. No obstante, aquella máquina era un modelo comercial con una estructura más sencilla que la de la Enigma militar.

La sección de investigación de Knox trabajaba en una pequeña cabaña situada en el patio de las caballerizas, detrás de la mansión. Junto con Knox, John Jeffreys, Alan Turing y Peter Twinn se instalaron allí. La gente llamaba a este edificio simplemente 'Cottage', es decir, la cabaña. Desde el invierno de 1939 hasta principios del año siguiente, Turing luchó con Enigma en esta cabaña. Al poco tiempo, Knox informó de que Turing no dejaba de aportar ideas continuamente.

La máquina Enigma a la que se enfrentaban parecía por fuera una máquina de escribir. Al pulsar una letra en el teclado, la corriente eléctrica atravesaba el interior de la máquina y se encendía una bombilla en el panel de lámparas superior indicando otra letra. En el interior de la máquina había 3 ruedas llamadas 'rotores'. Dentro de los rotores, cables intrincadamente conectados cambiaban una letra por otra. Cada vez que se pulsaba una letra, el rotor de la derecha se movía, y los demás rotores también giraban según condiciones predeterminadas. Dado que la configuración del cableado que cambiaba las letras variaba en consecuencia, pulsar repetidamente la misma letra A podía arrojar letras distintas. Al final de los rotores había un 'reflector' que devolvía la corriente eléctrica. La Enigma militar incorporaba además un dispositivo llamado 'tablero de conexiones' (plugboard). Era un panel en el que se conectaban cables para intercambiar dos letras entre sí.

La razón por la que resultaba difícil descifrar el código radicaba en la configuración más que en la estructura de la máquina. Los operadores de transmisiones del ejército alemán preparaban la máquina cada día según una configuración establecida. Cambiaban a diario qué rotores insertar y en qué orden, en qué letra fijar cada rotor y qué tomas conectar en el

tablero de clavijas. Hacia 1939, el número de configuraciones posibles que se podían elegir era de aproximadamente 159 trillones. Se trataba de un número compuesto por la cifra 159 seguida de 18 ceros, mayor que el resultado de multiplicar 100 millones por 1 billón. Era una cantidad tal que, si una persona las probara una por una, no terminaría ni en millones de años. He aquí la razón por la que el ejército alemán creía que Enigma era una máquina indestructible.

Sin embargo, las primeras personas en vencer a esta máquina no fueron británicas, sino polacas. Dado que Polonia compartía frontera con Alemania, le preocupaban los movimientos del ejército alemán más que a nadie. La Oficina de Cifrado de Polonia seleccionó a 3 jóvenes que habían estudiado matemáticas en la Universidad de Poznań: Marian Rejewski, Jerzy Różycki y Henryk Zygalski. En el otoño de 1932, en Varsovia, Rejewski asumió la tarea de investigar la Enigma militar alemana, y en diciembre de ese año logró un resultado decisivo en el desciframiento. Utilizó la teoría matemática de las 'permutaciones' para averiguar el cableado interno de los rotores. La permutación es un concepto matemático que trata sobre las formas de ordenar varios elementos en una secuencia determinada. Los documentos obtenidos por el servicio de inteligencia francés a través de un informante dentro del departamento de cifrado alemán también fueron de gran ayuda. Sobre esta base, Polonia llegó a construir incluso réplicas exactas de la máquina Enigma.

El equipo polaco leyó los códigos del ejército alemán durante varios años a partir de entonces y también fabricó directamente herramientas para facilitar el desciframiento. En el otoño de 1938, construyeron una máquina eléctrica para ayudar en las labores de descifrado, y el nombre de esta máquina fue 'bomba'. En idioma polaco significa bomba. Existen varias versiones sobre el origen de este nombre. Zygalski ideó un método consistente en superponer varias tarjetas de papel perforadas. La gente las llamó 'hojas de Zygalski'.

Pero el ejército alemán tampoco se quedó de brazos cruzados. En diciembre de 1938, los alemanes aumentaron los rotores disponibles de 3 a 5. Aunque los rotores que se introducían en la máquina seguían siendo 3, ahora había que elegir 3 de entre 5 y determinar su orden. Por ello, las formas de colocar los rotores pasaron de 6 a 60, multiplicándose por 10. En enero de 1939, también aumentaron la cantidad de cables conectados al tablero de clavijas. Para que el equipo polaco pudiera seguir el ritmo de estos

cambios, necesitaba fabricar 10 veces más bombas que antes. Era una tarea inasumible con el presupuesto y el personal de un país pequeño.

Ante la inminencia de la guerra, Polonia tomó una gran decisión. El 25 y 26 de julio de 1939, expertos en criptografía de Polonia, Francia y el Reino Unido se reunieron cerca de Varsovia. El lugar de encuentro fue una instalación secreta de la Oficina de Cifrado de Polonia en el bosque de Pyry, al sur de Varsovia. Por parte del Reino Unido asistieron Denniston, director de la Escuela Gubernamental de Códigos y Cifras, y Knox, quien dirigía la investigación de Enigma. Polonia mostró sin reservas los logros que había alcanzado hasta entonces. Reveló en su totalidad el cableado de los rotores, el diseño de la bomba y los principios de las hojas de Zygalski. Además, entregó una réplica de Enigma al Reino Unido y otra a Francia.

En aquella reunión, los representantes británicos y franceses comprendieron que Polonia estaba mucho más avanzada que ellos. Polonia no solo había leído ya numerosos mensajes del ejército alemán, sino que incluso había diseñado y fabricado directamente máquinas eléctricas para ayudar al desciframiento. La réplica destinada al Reino Unido llegó a Londres a mediados de agosto a través del oficial de inteligencia francés Gustave Bertrand. Ocurrió unas 2 semanas antes de que Alemania invadiera Polonia.

En la cabaña de Bletchley Park, Turing estudió meticulosamente los materiales facilitados por Polonia. Valoró muy positivamente la destreza matemática de Rejewski. Al mismo tiempo, detectó una debilidad oculta en el método polaco. En aquel momento, los operadores de radio alemanes tecleaban dos veces consecutivas, al principio de cada mensaje, 3 letras que indicaban la posición inicial de los rotores. Era una costumbre destinada a que el receptor comprendiera sin errores. La bomba y las hojas de Zygalski de Polonia utilizaban como pista la regularidad nacida de esta repetición. Turing previó que, si el ejército alemán abandonaba este hábito, el método polaco ya no se podría utilizar. Su predicción fue acertada. El ejército alemán eliminó esta repetición en mayo de 1940.

Por ello, Turing buscó otro camino que no dependiera de la repetición al principio del mensaje. Dirigió su atención a palabras que probablemente aparecieran en el texto cifrado. En los mensajes del ejército alemán se repetían a diario expresiones similares. Palabras sobre el clima, nombres de unidades y frases como 'nada que informar' son ejemplos de ello. Los criptoanalistas llamaban 'crib' a estos fragmentos del texto original que podían

preverse de antemano. Al comparar el crib junto al texto cifrado, muchas configuraciones de la máquina se descartaban como candidatas por ser incoherentes. Turing quería que una máquina hiciera esta búsqueda de contradicciones rápidamente en lugar de los humanos. El método basado en cribs se podía seguir utilizando sin importar cómo modificara el ejército alemán el comienzo de los mensajes.

Turing perfeccionó el diseño de dicha máquina desde el otoño de 1939 hasta finales de ese año. En homenaje a la bomba polaca, llamó a la nueva máquina 'Bombe'.

Entretanto, el equipo criptográfico polaco había abandonado su país. Al estallar la guerra, huyeron a Francia a través de Rumanía y continuaron descifrando Enigma junto con Francia en una base secreta situada a unos 40 kilómetros al sureste de París. En enero de 1940, Turing se reunió en persona con los expertos en criptografía polacos en París, y de este encuentro obtuvo pistas para impulsar su propia investigación un paso más allá.

Los planos de la Bombe se entregaron a Harold Keen, ingeniero de la British Tabulating Machine Company (BTM). Sus compañeros lo llamaban con el apodo de 'Doc'. La primera Bombe llegó a Bletchley Park en marzo de 1940, y la gente bautizó a esta máquina con el nombre de 'Victory', es decir, Victoria.

7.3. El excéntrico profesor de Bletchley Park

A medida que la guerra continuaba, el número de personas que trabajaban en Bletchley Park aumentó con rapidez. En septiembre de 1939 eran varias decenas, pero hacia el final de la guerra trabajaban aquí cerca de 10.000 personas. Matemáticos, lingüistas, jugadores de ajedrez, expertos en crucigramas, mecánicos e innumerables empleadas trabajaban juntos.

Incluso entre tanta gente, Turing llamaba la atención fácilmente. Sus compañeros lo llamaban 'Prof', un apodo abreviado de la palabra inglesa 'professor', que significa profesor. Aunque Turing no era profesor titular, se ganó este apodo por su aspecto erudito y siempre absorto en sus pensamientos. A él le importaba más lo que resultaba racional que la forma en que los demás lo vieran. Varias anécdotas transmitidas por sus colegas y biógrafos ilustran con claridad este rasgo de su personalidad.

La primera es la historia de la máscara de gas. Turing padecía una grave alergia al polen. Todos los años, al llegar junio, sufría de secreción nasal y estornudos. Para protegerse del polen mientras se desplazaba en bicicleta al trabajo, se ponía una máscara de gas. Como era tiempo de guerra, a todo el mundo se le había entregado una máscara de gas para prevenir ataques con gas venenoso, y Turing la utilizaba como mascarilla contra el polen. Se cuenta también que los aldeanos, al verlo pedalear por los caminos rurales con la máscara puesta, se asustaban pensando que había ocurrido alguna emergencia.

La segunda es la historia de la cadena de la bicicleta. La bicicleta de Turing tenía una avería: la cadena se salía constantemente. Una persona corriente la habría llevado al taller o habría cambiado la cadena por una nueva. Turing buscó primero la regularidad con la que se salía la cadena. Contó cuántas vueltas de pedal hacían falta para que la cadena se soltara. A partir de entonces, contaba mentalmente las pedaladas y, justo antes de que la cadena estuviera a punto de salirse, se bajaba de la bicicleta, la ajustaba y volvía a montar. Se dice también que más tarde instaló en su bicicleta un pequeño dispositivo que contaba las vueltas que daban los pedales. Es una anécdota que refleja con claridad su costumbre de buscar ciclos y reglas incluso ante una simple avería.

La tercera es la historia de la taza. En Bletchley Park desaparecían con frecuencia las tazas utilizadas para tomar el té. Para proteger su propia taza, Turing le colocó un candado en el asa y la encadenó a la tubería de un radiador. Un radiador es un aparato de calefacción que calienta la habitación haciendo circular agua caliente. La stampa de Turing recurriendo a una cadena y un candado con tal de proteger una sola taza quedó grabada durante mucho tiempo en la memoria de sus compañeros.

La cuarta es la historia del atletismo de fondo. A Turing le gustaba correr largas distancias. Cuando estaba agotado por el trabajo o tenía pensamientos complicados, corría durante horas por los caminos rurales de los alrededores de Bletchley. Se cuenta que en una ocasión llegó a correr unos 64 kilómetros (40 millas) desde Bletchley Park hasta Londres para asistir a una reunión. Tras finalizar la guerra, perfeccionó su nivel hasta el punto de competir en pruebas de maratón.

Al escuchar solo estas historias, Turing podría parecer una persona extravagante. Sin embargo, en sus actos siempre había un motivo propio. Si la máscara de gas detenía el polen, la usaba; y si conocía el ciclo con el que se salía la cadena, actuaba en consecuencia.

Esta actitud de priorizar los principios por encima de la mirada ajena se mantuvo idéntica al enfrentarse a Enigma. Mientras otros decían que era una máquina indestructible, Turing buscó con serenidad las reglas que regían la máquina y sus puntos débiles.

Bletchley Park fue un lugar que acogió a personalidades tan singulares. Allí la competencia y las ideas primaban sobre la vestimenta o la etiqueta. El propio Knox era famoso por su comportamiento peculiar, y en Bletchley Park abundaban individuos con personalidades muy marcadas. En semejante ambiente, Turing pudo pensar y calcular a su antojo, desplegando todo su talento.

Entre el verano de 1938 y el invierno de 1939, la vida de Turing cambió de forma radical. El matemático que investigaba máquinas imaginarias sobre el papel se convirtió en un criptoanalista enfrentado a máquinas reales. Él no abrió este camino en solitario. Estuvieron los matemáticos polacos que allanaron el terreno, estuvo Knox que compartió su dilatada experiencia, y estuvo Denniston que reconoció el poder de los matemáticos y los convocó. A partir de lo recibido de ellos, Turing edificó un método más amplio y sólido. El fruto de todo ello fue la Bombe.

Capítulo 8. Diseño y hazañas de la máquina descifradora Bombe (1939~1941)

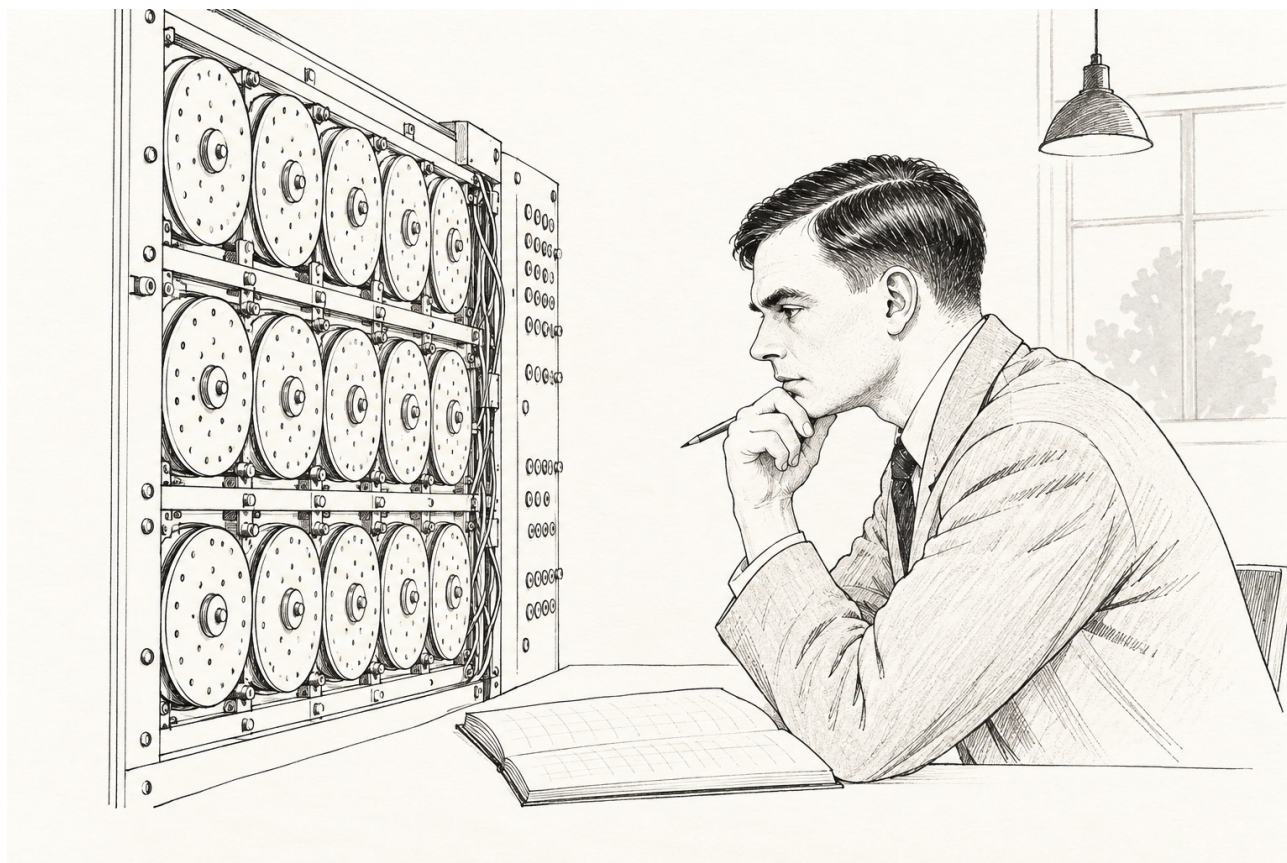


Figura 8. Representación de la investigación del descifrado criptográfico mediante la Bombe.

El 3 de septiembre de 1939, Gran Bretaña declaró la guerra a Alemania y entró en la Segunda Guerra Mundial. Bletchley Park, una antigua mansión situada en Buckinghamshire, al noroeste de Londres, se convirtió a partir de ese día en un campo de batalla donde no sonaban disparos. Quienes se reunieron allí luchaban con lápiz, papel y su inteligencia en lugar de armas.

El adversario era la máquina de cifrado alemana Enigma. Enigma era una caja de madera semejante a una máquina de escribir. Al pulsar una tecla, la corriente eléctrica atravesaba 3 ruedas circulares llamadas rotores y los cables del tablero de conexiones frontal, convirtiéndose en otra letra e iluminándola en el panel de lámparas superior. Dado que los rotores giraban 1 posición con cada letra pulsada, presionar la misma letra A 2 veces producía una letra diferente en cada ocasión.

Además, los militares alemanes cambiaban la configuración de la máquina todos los días. Determinaban de nuevo qué rotores colocar y en qué orden, en qué posición de letra hacerlos partir y qué pares de letras conectar con los cables del tablero de conexiones. Si se calcula el método de seleccionar 3 de 5 rotores y conectar 10 cables, las configuraciones posibles ascienden a alrededor de 159 trillones. Si una persona tuviera que comprobarlas a mano una por una, es una cifra que ni varias personas dedicando toda su vida podrían concluir. Por esta razón, el ejército alemán creía firmemente que Enigma era una máquina que nadie podía descifrar.

A sus 27 años, Alan Turing pensaba de manera diferente. Consideraba que, si se trataba de un enigma creado por una máquina, también podía resolverse mediante una máquina. 3 años antes, en su artículo 'Sobre números computables', Turing ya había explicado todo cálculo como una sucesión de operaciones mecánicas sumamente sencillas. Ahora había llegado el momento de trasladar ese pensamiento del papel al hierro y a los cables.

8.1. Diseño de la máquina descifradora electromecánica

El punto de partida en la Bomba polaca

La primera tarea que afrontó Turing en Bletchley Park fue examinar la tecnología entregada por Polonia. En julio de 1939, justo antes de que estallara la guerra, criptógrafos de Gran Bretaña y Francia se reunieron en una base secreta en el bosque de Pyry, cerca de Varsovia,

Polonia. En aquel encuentro, la Oficina de Cifrado polaca presentó los métodos con los que llevaban varios años descifrando Enigma, así como réplicas de la máquina.

En el centro de aquellos logros se encontraba el matemático polaco Marian Rejewski. En el otoño de 1938, Rejewski construyó un dispositivo descifrador accionado por un motor eléctrico y lo denominó 'Bomba'. La Bomba aprovechaba un hábito particular de los operadores de radio alemanes. En aquella época, al transmitir un mensaje, los operadores alemanes tecleaban al principio 2 veces consecutivas las 3 letras de la clave que se utilizaría para ese mensaje. El objetivo era que el receptor pudiera recibirla sin errores. Por ejemplo, si la clave era DKV, la cifraban y enviaban como DKV DKV. Al transmitir las mismas letras 2 veces, se revelaba un patrón entre ellas, y la Bomba sacaba partido de esa brecha.

Turing identificó de inmediato el punto débil de este método. Como la Bomba dependía de un único hábito de los alemanes, si estos cambiaban de costumbre, quedaba inservible. Y ya había sucedido con anterioridad que el cambio de métodos por parte de los alemanes dificultara el descifrado polaco. En diciembre de 1938, cuando el ejército alemán aumentó las opciones de rotores de 3 a 5, las posibilidades de elección se incrementaron enormemente, y el método polaco requería fabricar muchas más máquinas. Y, en efecto, a partir del 1 de mayo de 1940, los alemanes dejaron de enviar la clave 2 veces en la mayor parte de sus redes de comunicaciones.

El crib, una nueva llave

Turing buscó un método que pudiera seguir utilizándose aunque los alemanes cambiaran de hábitos. Era el método de deducir de antemano palabras que con certeza figurarían en el texto cifrado. El personal de Bletchley Park llamaba 'crib' a las palabras deducidas de esta manera. Originalmente, 'crib' era la palabra con la que los estudiantes británicos se referían a las notas que miraban a escondidas durante los exámenes.

Fue posible intuir los cribs porque los partes militares alemanes incluían siempre términos similares. En los informes meteorológicos transmitidos cada mañana a la misma hora, casi nunca faltaba la palabra alemana WETTER, que significa tiempo meteorológico. Turing consideró que, si emparejaba letra por letra esas palabras con el texto cifrado real y seguía las relaciones entre dichos pares, podía deducir de forma inversa la configuración de la máquina.

Dos debilidades de Enigma

En este método, Turing se apoyó en 2 propiedades inherentes a Enigma.

En primer lugar, en Enigma ninguna letra se transforma jamás en sí misma. Esto se debe a que el reflector situado en el extremo interior de la máquina siempre devuelve la corriente eléctrica por la ruta de otra letra distinta. Si se pulsa la A, se iluminará una de las 25 letras restantes, excluyendo la propia A. Por lo tanto, si al superponer el crib sobre el texto cifrado coincide la misma letra en la misma posición, esa posición es incorrecta. Los criptoanalistas descartaban estas posiciones desplazando el crib 1 posición a la vez.

En segundo lugar, los cables del tablero de conexiones funcionan de manera idéntica en ambos sentidos. Si se conectan la A y la E mediante un cable, la A se convierte en E y la E en A. Además, a cada letra solo se le puede conectar 1 cable.

Una máquina para descartar respuestas incorrectas

Aprovechando esta propiedad, Turing trasladó a los circuitos mecánicos el método de formular primero una hipótesis y luego descartarla si surgía una contradicción. Esta es la misma lógica que la reducción al absurdo utilizada en matemáticas. La reducción al absurdo consiste en asumir que una proposición es verdadera y, si al razonarla se llega a un resultado incongruente, determinar que la hipótesis inicial era falsa.

Por ejemplo, supongamos que, en una determinada posición de los rotores, en el tablero de conexiones la A está conectada con la E. Al aplicar sucesivamente esta hipótesis a los pares de letras del crib y continuar los cálculos, a veces se llegaba al resultado de que la A también debía estar conectada con la F. Dado que en una letra solo se puede enchufar 1 cable, semejante resultado es imposible. Eso significa que la hipótesis de partida era errónea. En tal caso, bastaba con descartar toda esa configuración, incluida la posición de los rotores, y pasar a la siguiente.

Los pares de letras del crib y del texto cifrado a los que se aplicaban sucesivamente las hipótesis podían representarse en un diagrama interconectado. En Bletchley Park llamaban 'menú' a este esquema. Cuantos más bucles tuviera el menú que regresaran a la letra

original formando un circuito cerrado, mejor filtraba la Bombe las configuraciones erróneas.

La Bombe realizaba este proceso de forma eléctrica. A la corriente eléctrica no le tomaba ni un parpadeo completar una vuelta por el circuito. Más que una máquina para dar con la respuesta correcta, la Bombe era una máquina para eliminar con rapidez las respuestas incorrectas. Cuando encontraba una configuración donde no surgían contradicciones, la máquina se detenía. Entonces, un operador humano anotaba la posición de los rotores en ese instante y la introducía en una réplica de Enigma para verificar si se trataba de la respuesta auténtica.

Una máquina hecha de hierro y cables

Los planos de diseño de Turing se remitieron a la British Tabulating Machine Company (BTM) en Letchworth. Harold Keen, ingeniero de esta empresa, era conocido popularmente como 'Doc'. A Keen se le encomendó transformar los circuitos lógicos de Turing en interruptores, relés y engranajes mecánicos reales.

La Bombe estándar que se utilizó ampliamente más adelante era una enorme caja de hierro de casi 2 metros de altura y anchura, y pesaba alrededor de 1 tonelada. En su panel frontal se alineaban tambores circulares que cumplían la función de los rotores de Enigma. 3 tambores realizaban el trabajo de 1 máquina Enigma, y una sola Bombe contenía circuitos equivalentes a 36 máquinas Enigma. En la parte posterior de cada tambor había 104 finas escobillas de alambre que conectaban las trayectorias eléctricas de las 26 letras del alfabeto. Estos circuitos estaban interconectados mediante cables que agrupaban 26 hilos, siguiendo el menú establecido.

El 18 de marzo de 1940, la primera Bombe se instaló en el Barracón 1 (Hut 1) de Bletchley Park. La apodaron 'Victory', es decir, Victoria.

8.2. La incorporación del tablero diagonal de Gordon Welchman

El dilema de Victory

Victory era una máquina impecable en la teoría, pero en la práctica surgieron inconvenientes. Con 10 cables en el tablero de conexiones, los alemanes emparejaban 20 de las 26 letras del alfabeto. Había tantas combinaciones posibles que, para que Victory pudiera descartar eficazmente las configuraciones erróneas, el menú debía contener múltiples bucles en los que las letras formaran circuitos cerrados. Y para conseguir tales bucles, el crib debía ser extenso.

Sin embargo, encontrar un crib largo y certero en los mensajes cifrados reales no resultaba sencillo. Si se operaba la Bombe con un menú que careciera de suficientes bucles, la máquina se detenía constantemente en posiciones que no eran la solución. A esto se le denominaba 'paradas falsas'. Dado que cada detención requería una verificación manual por parte de personas, la velocidad del descifrado no alcanzaba el nivel esperado.

La idea de Welchman

Quien solucionó este problema fue Gordon Welchman. Welchman, nacido en 1906, era 6 años mayor que Turing y se había incorporado a Bletchley Park tras enseñar matemáticas en la Universidad de Cambridge. Estaba al frente del Barracón 6 (Hut 6), responsable de la máquina Enigma del ejército de tierra y de la aviación alemanes.

Entre finales de 1939 y principios de 1940, al estudiar con detenimiento el diseño de la Bombe de Turing, Welchman comprendió que la máquina no estaba aprovechando plenamente la naturaleza bidireccional del tablero de conexiones. Si la A está unida a la E, la E también está unida a la A. Aplicar este hecho tan evidente de manera simultánea a toda la máquina permitía hallar las contradicciones con muchísima mayor rapidez.

Welchman plasmó esta idea en un mecanismo llamado 'tablero diagonal'. El tablero diagonal era una placa donde 26 por 26, es decir, 676 terminales estaban dispuestos como en una cuadrícula, conectando mediante cables los terminales simétricos respecto a la diagonal. Cuando el circuito de la Bombe detectaba la unión entre B y E, el tablero diagonal transmitía en ese mismo instante la unión entre E y B al circuito. De este modo, la información obtenida en un punto se propagaba al instante por toda la máquina.

Welchman relató más tarde en sus memorias que, cuando le mostró esta idea a Turing, este al principio se mostró escéptico, pero de inmediato la acogió con gran entusiasmo. Turing

aceptó de muy buen grado la propuesta de su colega, que venía a perfeccionar su propio diseño.

El nacimiento de Agnus

La Bombe provista del tablero diagonal lograba descartar casi todas las configuraciones incorrectas incluso con cribs breves y de pocos bucles. Las paradas falsas disminuyeron de forma drástica, y con ello se redujo también la labor de comprobación humana.

El 8 de agosto de 1940, comenzó a funcionar en Bletchley Park la segunda Bombe, construida desde el principio con el tablero diagonal incorporado. Recibió el nombre de 'Agnus', tomado de 'Agnus Dei', que en latín significa 'Cordero de Dios'. La gente también la llamaba con cariño Agnes o Aggie. La máquina Victory, construida con anterioridad, también regresó a la fábrica para que le instalaran el nuevo tablero diagonal.

Esta máquina que aunaba las ideas de Turing y Welchman se conoce hoy como la 'Bombe Turing-Welchman'. Para un solo orden de colocación de los rotores, esta Bombe examinaba las 17.576 posiciones de rotor ($26 \times 26 \times 26$) en poco más de 20 minutos. Era una labor impensable para manos humanas.

A partir de entonces, el número de Bombes aumentó sin cesar. De su funcionamiento se encargaban principalmente miembros del Servicio Naval Real de Mujeres (WRNS). Ellas conectaban los cables conforme al menú, sustituían los tambores y tomaban nota de los resultados cuando la máquina se detenía. Hacia el desenlace de la guerra, operaban más de 200 Bombes en Gran Bretaña.

8.3. El ataque con cribs y el descifrado en tiempo real

Quienes buscaban los cribs

Por muy rápida que fuese la Bombe, resultaba inútil si no se le introducía el crib adecuado. La búsqueda de cribs no era labor de las máquinas, sino de las personas. Los descifradores observaban con tenacidad las rutinas y las equivocaciones de los telegrafistas alemanes.

Los militares alemanes repetían todos los días informes con la misma estructura. Había partes meteorológicos, informes de 'sin novedades' indicando que no había novedades que reseñar, y palabras que siempre ocupaban el mismo lugar, como la designación de las unidades y los rangos de los comandantes. Ciertas bases transmitían oraciones prácticamente idénticas día tras día, y dichas frases se convertían en magníficos cribs para los criptoanalistas.

También se llevaron a cabo operaciones con el propósito deliberado de generar cribs. La Real Fuerza Aérea británica arrojaba minas marinas en puntos específicos de las aguas frecuentadas por los alemanes. Ante ello, los alemanes transmitían mensajes de alerta indicando el nombre de dichas zonas, y los descifradores utilizaban el nombre de esas coordenadas como crib. Esta táctica recibió el apodo de 'Jardinería' (Gardening).

Los mayores éxitos provinieron de la aviación alemana. El código de la Luftwaffe que Bletchley Park denominaba 'Red' registraba frecuentes errores por parte de los operadores y ofrecía abundantes cribs. A partir del 22 de mayo de 1940, el Barracón 6 descifró este código prácticamente todos los días.

El rival más difícil: la marina alemana

El contrincante al que se midió Turing fue la máquina Enigma de la marina alemana, notablemente más compleja. Bletchley Park llamaba 'Dolphin' a esta clave naval utilizada por los submarinos U-boot.

La importancia del código naval radicaba en la situación bélica del Atlántico. Al capitular Francia en junio de 1940, el almirante Karl Dönitz, al frente de la flota de submarinos alemanes, estableció bases navales en puertos de la costa atlántica francesa, entre ellos Lorient. Los submarinos U-boot alemanes pudieron así alcanzar sin dificultad el corazón del Atlántico. Dönitz dispersaba varios U-boot por el océano y, en cuanto 1 de ellos avistaba un convoy de transporte, convocaba por radio a los demás para atacar en conjunto. A esta maniobra se la conoció como la táctica de las 'manadas de lobos'. Como país insular, Gran Bretaña debía transportar por barco víveres, combustible y armamento desde Estados Unidos y Canadá; por consiguiente, cada buque mercante que se hundía debilitaba un poco más la línea vital británica.

Sin embargo, la máquina Enigma de la marina alemana contaba con una protección mucho más sólida que las del ejército de tierra y la aviación. Mientras que el ejército de tierra y la fuerza aérea seleccionaban 3 de 5 rotores, empleando 60 combinaciones de orden, la marina añadió 3 rotores más y elegía 3 entre 8. El repertorio de secuencias se elevó a 336. Además, la marina camuflaba una vez más la clave de los mensajes utilizando un libro específico y tablas de conversión de 2 letras. Por ello, incluso tras dar con un crib, quedaban muchos escollos por superar antes de poder cargarlo en la Bombe.

Muchos en Bletchley Park negaban con la cabeza dando por hecho que la Enigma naval era imposible de descifrar. A Turing le atrajo precisamente esa circunstancia. Con el tiempo, Turing comentó que, como nadie se ocupaba de ese asunto, pudo abocarse a él en solitario. Turing se puso al frente del Barracón 8 (Hut 8) e inició un largo combate contra el código naval. Para acortar el tiempo de cómputo de la Bombe, formuló además un nuevo método de cálculo apoyado en la probabilidad y la estadística.

La llave rescatada del mar

Las matemáticas por sí solas no bastaban. Hacía falta capturar directamente los materiales criptográficos de la marina alemana. El 26 de abril de 1940, el destructor británico HMS Griffin capturó frente a las costas de Noruega el buque alemán Polares, camuflado como pesquero neerlandés. Gracias a la documentación hallada en este barco, el Barracón 8 logró descifrar las comunicaciones navales de varios días de finales de abril de 1940. Aunque el descifrado demoró demasiado como para aplicarlo de inmediato a las operaciones militares, Turing y sus compañeros comprendieron a fondo la estructura de la Enigma naval.

El material determinante se obtuvo al año siguiente. El 9 de mayo de 1941, los buques británicos HMS Bulldog y HMS Aubrietia atacaron al submarino alemán U-110 al sur de Islandia, obligándolo a emerger a la superficie. El comandante Fritz-Julius Lemp pereció mientras abandonaba la nave, y marineros británicos bajo el mando del subteniente David Balme abordaron el submarino antes de que se hundiera. Lograron recuperar intactos tanto la máquina Enigma como los libros de códigos.

Al utilizar conjuntamente estos materiales, la Bombe y los métodos matemáticos de Turing, la velocidad de descifrado se multiplicó. En junio y julio de 1941, el Barracón 8 llegó a descifrar las transmisiones navales interceptadas en el transcurso de 1 hora.

Cambiar el rumbo del Atlántico

La información descifrada recibió el nombre en clave de 'Ultra'. Los informes Ultra se remitían sin demora al Almirantazgo en Londres. El Almirantazgo determinaba la posición en el mar donde aguardaban los U-boot y desviaba el rumbo de los convoyes fuera de su alcance. Las manadas de lobos se quedaron custodiando un océano vacío. En la segunda mitad de 1941, la cantidad de cargueros aliados hundidos en el Atlántico descendió de forma notable respecto a la primera mitad del año.

La trascendencia que tuvo el descifrado criptográfico en la totalidad de la contienda solo puede calcularse mediante estimaciones. Existen estimaciones de que el descifrado en Bletchley Park adelantó el final de la guerra en unos 2 años. El investigador de Turing, Jack Copeland, estimó que, de haberse prolongado la guerra más de 2 años adicionales, más de 14 millones de personas más podrían haber perdido la vida. Esta cifra representa una estimación sujeta a variaciones según el método de cálculo empleado. Con todo, la mayoría de los investigadores coincide en que el descifrado de códigos constituyó un factor decisivo que torció el rumbo de la batalla del Atlántico.

En el otoño de 1939, ante una Enigma que todos consideraban indescifrable, Turing eligió la vía de enfrentarse a una máquina con otra máquina. En esa senda confluyeron las investigaciones pioneras de los matemáticos polacos, el tablero diagonal de Welchman, la habilidad técnica de Keen y las manos de los incontables operadores que mantuvieron en marcha la Bombe día y noche. Aunque la Bombe era una máquina consagrada a un único propósito, aquella experiencia de trasladar el pensamiento humano a circuitos eléctricos se convirtió en el puente hacia la verdadera computadora que Turing aspiraba a crear tras la guerra.

Capítulo 9. Hut 8, Enigma naval y Banburismus (1940–1942)



Figura 9. Se ilustra la relación entre el descifrado de códigos y la protección de los convoyes.

Cuando el ejército alemán ocupó Francia en el verano de 1940, Gran Bretaña tuvo que enfrentarse sola a Alemania en Europa. Al ser un país insular, Gran Bretaña importaba gran parte de sus alimentos, petróleo y armas de ultramar, y los barcos cargados con estos suministros cruzaban el Atlántico en grupos. A este grupo de barcos que navegan juntos se le llama convoy.

El almirante Karl Dönitz, que comandaba la flota de submarinos de la marina alemana, intentó cortar esta ruta marítima. Estableció bases de submarinos en puertos como Lorient, en la costa occidental de Francia. A los submarinos alemanes se les llama U-boot, y varios U-boot rodeaban y atacaban a los convoyes tal como una manada de lobos caza en grupo. La gente llamaba a este método la táctica de la manada de lobos. El primer ministro Winston Churchill recordó después de la guerra que lo único que realmente le había asustado durante el conflicto fue la sola amenaza de los U-boot.

Para detener a los U-boot, primero era necesario saber dónde se encontraban. Los U-boot se comunicaban por radio con su cuartel general en alta mar, y Gran Bretaña podía interceptar esas transmisiones de radio. El problema era que el contenido de los mensajes de radio estaba oculto bajo un cifrado llamado Enigma naval. El Enigma naval era más difícil de descifrar que el utilizado por el ejército de tierra y la fuerza aérea, e incluso entre los altos mandos de Bletchley Park se decía que el código naval jamás se podría descifrar.

El juicio de Alan Turing fue diferente. Pensó que, como nadie se hacía cargo del cifrado naval, él podría investigarlo a su antojo en solitario. El problema que otros habían abandonado fue, para él, más bien una excelente oportunidad. De esta forma, Turing asumió la dirección de un equipo dedicado en exclusiva al Enigma naval. Como el número del barracón de madera en el que trabajaba este equipo era el 8, el nombre del equipo pasó a ser Hut 8. En aquel momento, Turing era un joven matemático a finales de sus 20 años.

9.1. Hut 8 y el cifrado de los U-boot

Había varias razones por las que el Enigma naval era tan difícil de descifrar. La primera era el número de rotores. Dentro de la máquina Enigma se colocaban 3 ruedas redondas que cambiaban las letras, llamadas rotores. El ejército de tierra y la fuerza aérea elegían 3 de entre 5 rotores y los insertaban en orden. Esto daba 60 formas de colocar los rotores. En cambio, la armada elegía 3 de entre 8 rotores, lo que elevaba las combinaciones a 336. Desde el punto de vista de los descifradores, los casos que debían examinarse aumentaban en más de 5 veces.

La segunda razón era la forma de ocultar el indicador. A los mensajes enviados por Enigma se les añadía al principio un breve grupo de letras. A esto se le llama indicador, y es una señal que indica al destinatario en qué posición debe descifrar el mensaje. El ejército de tierra y la fuerza aérea ocultaban los indicadores mediante un método relativamente simple. La armada elegía el indicador de un libro especial y luego lo ocultaba una vez más utilizando una tabla que sustituía 2 letras por otras 2 letras. Sin conocer esta tabla, por muchos mensajes que se recopilaban, resultaba imposible encontrar el punto de partida para descifrarlos.

Turing combinó los materiales antiguos legados por los criptoanalistas polacos con el razonamiento matemático y, para finales de 1939, dedujo casi por completo en su mente cómo funcionaba este sistema de indicadores. Sin embargo, conocer la estructura y tener en las manos las tablas que realmente se utilizaban eran cosas distintas. Gran Bretaña tenía que capturar directamente los materiales de cifrado de los buques alemanes. La gente de Bletchley Park llamaba a estas operaciones un «pinch», es decir, sustraer algo furtivamente.

La primera oportunidad se presentó el 26 de abril de 1940 en aguas de Noruega. El destructor británico Griffin apresó el patrullero naval alemán Polares, camuflado como pesquero holandés, y entre los documentos que los marineros alemanes no lograron destruir a tiempo figuraban las configuraciones de cifrado de varios días de finales de abril. Hut 8 utilizó este material para descifrar retrospectivamente las comunicaciones pasadas. En noviembre de 1940, Hugh Foss descifró una comunicación naval fechada el 8 de mayo de ese mismo año. Lo que sus compañeros bautizaron como «el Día de Foss» fue la fecha de

ese mensaje. Aunque se trataba de comunicaciones ya muy desfasadas, supuso un logro fundamental que demostró que el Enigma naval se podía descifrar.

La segunda oportunidad llegó en la primavera del año siguiente. El 4 de marzo de 1941, comandos británicos y noruegos asaltaron las islas Lofoten en Noruega y recuperaron un juego de rotores de Enigma y documentos de cifrado del pesquero armado alemán Krebs. Aunque el comandante del Krebs arrojó la máquina Enigma al mar, entre los materiales rescatados figuraban las configuraciones de cifrado de febrero de la marina alemana.

La mayor oportunidad se presentó el 9 de mayo de 1941. Al sur de Islandia, el U-boot U-110, que acechaba a un convoy, emergió a la superficie tras ser atacado con cargas de profundidad por los buques británicos Bulldog y Aubrietia. Las cargas de profundidad son bombas diseñadas para detonar bajo el agua y atacar submarinos. El comandante, el capitán Julius Lemp, creyó que el barco se hundiría pronto y ordenó a la tripulación abandonar la nave. Sin embargo, el U-110 no se hundió. Marineros británicos encabezados por el subteniente David Balme desafiaron el peligro, entraron en el submarino y recuperaron intactos la máquina Enigma y los libros de claves de la sala de radio. Gran Bretaña guardó este hecho bajo el más absoluto secreto, ya que si Alemania descubría la captura de sus claves, las habría cambiado de inmediato.

Cuando a estos materiales capturados se unieron la bomba diseñada por Turing y la técnica estadística conocida como Banburismus, que se explicará en la siguiente sección, la situación cambió radicalmente. A partir de junio de 1941, Hut 8 leyó casi a diario el código naval utilizado por los U-boot. Bletchley Park denominó a este cifrado «Dolphin», que significa delfín. La información descifrada se remitía al Almirantazgo bajo el nombre secreto de «Ultra», y el Almirantazgo localizaba los puntos de reunión de las manadas de U-boot para que los convoyes navegaran rodeando esas aguas. En la segunda mitad de 1941, el número de barcos aliados hundidos en el Atlántico disminuyó de manera ostensible.

Con todo, el trabajo no siempre estuvo exento de dificultades. A Hut 8 le faltaba personal de forma constante. Como no había suficiente gente para clasificar y mecanografiar los mensajes descifrados, el trabajo de un día a menudo se acumulaba para el siguiente. El 6 de septiembre de 1941, el primer ministro Churchill visitó Bletchley Park y felicitó al personal. Unas 6 semanas después, el 21 de octubre, Turing, junto con Hugh Alexander, Gordon

Welchman y Stuart Milner-Barry (estos 2 últimos de Hut 6, encargados de los códigos del ejército y la fuerza aérea), escribió una carta directa a Churchill. En ella explicaban que la escasez de personal retrasaba la obtención de las configuraciones del cifrado naval al menos 12 horas cada día. Milner-Barry llevó personalmente la carta al número 10 de Downing Street, en Londres. Tras leerla, Churchill ordenó a su principal asesor militar, el general Ismay: «Actúe hoy mismo; deles todo lo que necesiten». A partir de entonces, el personal y las máquinas en Bletchley Park aumentaron notablemente.

El descifrado se interrumpió de nuevo al año siguiente. El 1 de febrero de 1942, los U-boot del Atlántico comenzaron a emplear una nueva máquina Enigma provista de 4 rotores. Bletchley Park dio a este nuevo código el nombre de «Shark», que significa tiburón. Hut 8 no pudo descifrar este código durante casi 10 meses, y durante ese lapso las pérdidas de navíos aliados volvieron a aumentar drásticamente. El punto de inflexión llegó otra vez gracias a materiales capturados en el mar. El 30 de octubre de 1942, en el Mediterráneo, marineros británicos abordaron el U-boot U-559 mientras se hundía y lograron extraer libros de claves. Durante la misión, el oficial Anthony Fasson y el marinero Colin Grazier perdieron la vida al hundirse con la nave, mientras que un muchacho de 16 años, Tommy Brown, logró sobrevivir. Gracias a los libros de claves que rescataron, Hut 8 pudo reanudar la lectura de Shark en diciembre de 1942.

Por aquella época, Turing se iba desvinculando de las tareas rutinarias de Hut 8. Aunque sobresalía a la hora de profundizar en los problemas, era torpe en la gestión de equipos numerosos, de modo que la dirección práctica solía recaer en el subdirector, Hugh Alexander. Cuando Turing partió hacia Estados Unidos en noviembre de 1942, Alexander asumió formalmente el liderazgo de Hut 8.

9.2. El método estadístico del Banburismus

La bomba era una máquina que ponía a prueba las configuraciones de los rotores una por una. Sin embargo, en 1940 y 1941 solo había unas pocas bombas en Bletchley Park, por lo que no alcanzaban ni siquiera para descifrar los códigos del ejército de tierra y de la fuerza aérea. Probar en las bombas las 336 disposiciones de rotores del Enigma naval consumía demasiado tiempo y resultaba imposible.

Por este motivo, Turing ideó descartar primero mediante cálculos las disposiciones poco probables antes de poner en marcha las bombas. Si entre las 336 combinaciones se seleccionaban únicamente unas pocas verosímiles para enviarlas a la bomba, el tiempo de funcionamiento de la máquina se reducía de forma considerable. El procedimiento nacido de esta idea fue el Banburismus. Turing encontró la pista inicial en una técnica ideada por el criptoanalista polaco Jerzy Różycki, llamada el método del reloj.

El Banburismus sacó partido de una debilidad del Enigma naval. La armada fijaba una configuración básica diaria compartida por todos los operadores de radio. Dicha configuración básica se denominaba en alemán «Grundstellung». Los telegrafistas elegían una posición inicial independiente para cada mensaje, la cifraban con esta configuración básica y la colocaban al inicio del texto. De este modo, la posición en la que realmente comenzaba el cifrado difería de un mensaje a otro. No obstante, si las posiciones iniciales de 2 mensajes emitidos el mismo día estaban próximas, al desplazar uno de ellos unas cuantas casillas y superponerlos debidamente, se creaba un tramo en el que la máquina había sustituido las letras en idéntico estado interno. Al hacer coincidir estos tramos cifrados bajo el mismo estado de la máquina, salían a la luz patrones ocultos.

Para averiguar cómo debían superponerse los 2 mensajes, el equipo de Turing recurrió a unas tiras alargadas de papel. En las tarjetas figuraban impresas las letras del alfabeto distribuidas en casillas, y los operadores perforaban la casilla correspondiente a cada letra del criptograma. Estas tarjetas se imprimían en un taller de la localidad de Banbury, en el condado de Oxfordshire. De ahí que las tarjetas recibieran el nombre de «hojas de Banbury» (Banbury sheets), y que todo el método basado en ellas se denominara Banburismus.

El procedimiento era el siguiente: se superponían las tarjetas de 2 mensajes y se iluminaban desde abajo. Luego, desplazando la tarjeta superior casilla a casilla hacia un lado, se contaban los puntos en los que los orificios de ambas tarjetas coincidían. Que un orificio coincidiera significaba que en esa misma posición de ambos mensajes figuraba exactamente la misma letra.

El número de coincidencias resultaba revelador debido a la probabilidad. Si se superponen 2 cadenas de texto generadas al elegir al azar y con idéntica probabilidad entre las 26 letras del alfabeto, la probabilidad de que una misma letra coincida en la misma posición es de 1

entre 26, dado que el alfabeto consta de 26 letras. Sin embargo, al superponer correctamente 2 mensajes de la marina alemana producidos en el mismo estado de la máquina, dicha probabilidad ascendía a aproximadamente 1 entre 17. Este valor constituía una aproximación basada en la distribución de las letras en los mensajes navales de la época. Como en alemán existen letras muy recurrentes, como la E, la proporción de coincidencias del texto original se traslada intacta al criptograma. Los analistas no solo contabilizaban las coincidencias aisladas de una letra, sino también las secuencias continuas de 2 o 3 letras que coincidían. Cuantas más coincidencias aparecían, mayores eran las probabilidades de que los 2 mensajes estuviesen alineados correctamente.

La incógnita restante era cuántas coincidencias hacían falta para considerar fiable el resultado. Para responder a esto, Turing creó una unidad para medir el peso de la evidencia. Estableció que si un indicio multiplicaba por 10 la proporción entre la verosimilitud y la falsedad de una hipótesis, el peso de esa evidencia equivalía a 1 ban. La denominación «ban» se tomó de la localidad de Banbury. No obstante, dado que 1 ban resultaba una unidad excesivamente grande para el uso práctico, Turing empleó sobre todo su décima parte: el deciban. Se trataba de un criterio análogo al del decibelio, la unidad utilizada para medir la intensidad del sonido.

La ventaja del deciban residía en que solo hacía falta sumar. Supongamos que en un principio las probabilidades de acierto o error estuviesen al 50%. Si se acumulaban 10 decibanes de evidencia, la probabilidad de acierto pasaba a ser 10 veces superior a la de error. Con 20 decibanes se hacía 100 veces mayor, y con 50 decibanes alcanzaba las 100 000 veces. Los encargados sumaban puntuaciones con cada letra coincidente y, una vez superado el umbral fijado, extraían una conclusión. Jack Good, colaborador y asistente de Turing, explicó que 1 deciban representaba aproximadamente la menor variación con la que un ser humano puede percibir un cambio en el grado de su convicción.

Este método de ajustar gradualmente el juicio conforme se incorpora nueva evidencia se conoce como análisis secuencial. El matemático estadounidense Abraham Wald formuló y publicó también un método similar, pero Turing ya lo aplicaba con anterioridad en las trincheras del criptoanálisis. Sin embargo, dado que el trabajo de Turing constituía un secreto bélico, el mundo exterior ignoró este hecho durante mucho tiempo.

Una vez esclarecida la alineación entre diversos pares de mensajes mediante el Banburismus, los resultados permitían deducir cuáles eran el rotor derecho y el rotor central. De esta forma, entre las 336 combinaciones posibles, las candidatas a comprobarse en la bomba quedaban reducidas a unas pocas opciones. El especialista más consumado en Banburismus fue Hugh Alexander, quien además era campeón de ajedrez, y Joan Clarke destacó igualmente como una banburista de primer orden. Alexander y Jack Good consideraban esta labor más un pasatiempo de ingenio que un empleo formal: una tarea que no resultaba tan elemental como para aburrir ni tan ardua como para agotar.

Hut 8 empleó este método de manera ininterrumpida durante 2 años, y solo prescindió de él en 1943, una vez que se contó con una dotación holgada de bombas. Durante ese período, el Banburismus supuso un enorme ahorro en las horas de funcionamiento de las máquinas. Al concluir la guerra, la gran mayoría de las hojas de Banbury se destruyó para guardar el secreto. No obstante, en septiembre de 2013, unos operarios que remodelaban los barracones de Bletchley Park hallaron varias hojas de Banbury encajadas en las grietas del techo de Hut 6. Quienes trabajaban en aquel gélido barracón habían rellenado las rendijas con esos papeles desechados para protegerse de las corrientes de aire.

9.3. El libro del Profesor

El personal de Bletchley Park apodaba a Turing «el Prof», abreviatura de profesor. Aunque formalmente no ejercía de catedrático, su porte de vivir absorto en problemas matemáticos le otorgaba un aire típicamente profesoral.

En el otoño de 1940, Turing plasmó los principios del descifrado de Enigma que había descubierto en un extenso informe. Su título oficial era «Teoría matemática de la máquina Enigma», pero dentro de Bletchley Park este texto se conocía como «el libro del Profesor». Turing redactó el cuerpo principal a máquina y trazó a mano las fórmulas y los esquemas.

Este libro contenía formulaciones matemáticas sobre cómo los rotores y la clavija de conexiones de Enigma alteraban las letras. También exponía cómo cotejar frases deducidas con el criptograma para detectar contradicciones, detallaba los principios de funcionamiento de la bomba y explicaba la forma de atacar los indicadores navales. Los matemáticos recién incorporados a Bletchley Park aprendían a quebrar Enigma mediante este volumen. «El libro del Profesor» permaneció clasificado durante décadas hasta que fue

desclasificado en Estados Unidos en 1996. Actualmente se custodia en los Archivos Nacionales británicos bajo la signatura HW 25/3.

Aparte de esto, Turing escribió 2 monografías sobre la aplicación de la probabilidad al criptoanálisis. Una de ellas abordaba el uso de la probabilidad en la criptografía. En ella, Turing detalló la aplicación del teorema de Bayes y del cálculo en decibanes a diversas clases de claves. El teorema de Bayes es una ecuación de probabilidad que indica cómo actualizar la estimación inicial ante la llegada de nuevos indicios. La otra monografía examinaba la frecuencia de repetición de letras idénticas en un texto. Ambas investigaciones permanecieron bajo riguroso secreto durante cerca de 70 años en el Cuartel General de Comunicaciones del Gobierno británico, el GCHQ. No fue sino hasta abril de 2012, al conmemorarse el centenario del nacimiento de Turing, cuando ambos documentos se transfirieron a los Archivos Nacionales y salieron a la luz pública. Un matemático del GCHQ señaló en aquel momento que la mera circunstancia de que hubiesen permanecido clasificados durante tanto tiempo daba testimonio de su trascendencia.

La idea de Turing de cuantificar la cantidad de información numéricamente, al igual que ponderaba el peso de la evidencia en decibanes, guardaba un notable paralelismo con la teoría de la información formulada de manera independiente por Claude Shannon en Estados Unidos durante ese mismo período. Shannon diseñó igualmente una unidad para medir la magnitud de la información. Ambos científicos llegaron a reunirse e intercambiar impresiones en Estados Unidos en 1943, en plena conflagración.

El enfoque estadístico de Turing no concluyó con Enigma. En julio de 1942, Turing diseñó un procedimiento manual para averiguar la configuración de las levas de los rotores de Lorenz —otra máquina criptográfica utilizada por el Alto Mando alemán—, es decir, la posición de los salientes dispuestos a lo largo del perímetro de las ruedas que alteraban las señales. Sus compañeros bautizaron esta técnica como «Turingery», en honor a su creador. El método de acumular indicios mediante decibanes se aprovechó también en otros procedimientos para vulnerar el cifrado Lorenz. Esta línea de avances desembocó, entre 1943 y 1944, en Colossus, la máquina electrónica de descifrado construida por el ingeniero Tommy Flowers. Colossus era un dispositivo electrónico accionado por válvulas de vacío.

El éxito de Hut 8 al descifrar el Enigma naval entre 1940 y 1942 fue el fruto de una concatenación de esfuerzos colectivos. Turing tomó las riendas de un código naval

considerado indescifrable incluso dentro de Bletchley Park, desentrañó el sistema de indicadores, diseñó la bomba, redujo mediante cálculos probabilísticos las alternativas que la máquina debía verificar y consignó sus métodos en un libro de referencia para el trabajo conjunto de sus compañeros. A ello se sumó la intrepidez de los marineros que incautaron materiales criptográficos de buques alemanes, así como la meticulosa labor del personal de Hut 8 que perforaba y cotejaba los orificios de las hojas de Banbury y acumulaba puntuaciones. Si el Almirantazgo pudo guiar a los convoyes rodeando las zonas marítimas infestadas de U-boot, fue gracias a la convergencia armónica de todas estas tareas.

Capítulo 10. Intercambio tecnológico secreto y el proyecto Delilah (1942-1945)



Figura 10. Recreación de las investigaciones sobre Delilah para el cifrado de voz.

En el otoño de 1942, en el océano Atlántico, los submarinos alemanes U-boot hundían uno tras otro los barcos de transporte de los Aliados. Alan Turing trabajaba en la Hut 8 de Bletchley Park descifrando la máquina Enigma de la marina alemana. En ese momento se le encomendó una nueva misión: viajar a Estados Unidos para compartir con sus colegas estadounidenses las técnicas de criptoanálisis acumuladas por Gran Bretaña.

Detrás de esta misión se encontraba la entrada de Estados Unidos en la guerra. Estados Unidos se sumó al conflicto a raíz del ataque japonés a Pearl Harbor en diciembre de 1941. Si dos países que luchaban contra el mismo enemigo descifraban los códigos por separado, requerirían el doble de tiempo y esfuerzo. Ambos países decidieron aunar fuerzas, y Turing se convirtió en uno de los enlaces clave entre ellos.

Entre 1942 y 1945, el trabajo de Turing abarcó principalmente tres aspectos. Primero, visitó Estados Unidos para transmitir las técnicas de criptoanálisis e inspeccionar dispositivos de cifrado de voz. Tras regresar a Gran Bretaña, construyó personalmente Delilah, una máquina que transformaba la voz humana en código cifrado. Al término de la guerra recibió una condecoración, aunque durante mucho tiempo no se pudo revelar qué méritos conmemoraba dicha distinción.

10.1. Visitas a agencias de criptoanálisis y laboratorios de Estados Unidos

Un invitado llegado sin documentos

Turing cruzó el Atlántico en barco en noviembre de 1942. Era un mar peligroso donde los U-boot acechaban a los barcos de transporte. Llegó a Nueva York el 12 de noviembre, y su visita se prolongó hasta marzo del año siguiente.

Nada más llegar se produjo un pequeño alboroto. Como Turing no disponía de la documentación adecuada para acreditar su identidad, los funcionarios de inmigración dudaron durante un buen rato si permitirle la entrada. Este episodio quedó registrado tal cual en un informe que el propio Turing redactó 2 semanas después.

Para Turing, Estados Unidos no era un lugar nuevo. Entre Nueva York y Washington se encuentra Princeton, donde 6 años antes había realizado sus estudios de doctorado. En

aquel entonces era un joven estudiante que redactaba artículos matemáticos. En esta ocasión, volvió a pisar suelo estadounidense como emisario secreto en representación de las tecnologías criptográficas del gobierno británico.

El OP-20-G de Washington

El primer lugar que visitó Turing fue el OP-20-G, la sección de criptoanálisis de la Armada estadounidense en Washington D. C. Aunque su nombre sonaba tan críptico como un código, no era más que la designación asignada a un equipo dentro de la división encargada de las comunicaciones en el cuartel general de la Armada de Estados Unidos. Al igual que la Hut 8 británica, este equipo también intentaba descifrar la máquina Enigma de la marina alemana.

Turing se reunió con los expertos en criptografía estadounidenses para explicarles los métodos británicos. Les detalló cuestiones como el funcionamiento de la Bombe y la reducción de candidatos mediante el banburismus. En un principio, no valoró con demasiado entusiasmo la destreza del equipo de la Armada de Estados Unidos. Sin embargo, con la incorporación de brillantes jóvenes matemáticos como Andrew Gleason, el nivel del equipo aumentó con rapidez.

La fábrica de Bombes de Dayton

El 21 de diciembre de 1942, Turing visitó la fábrica de NCR (National Cash Register) en Dayton, Ohio. Esta empresa, que fabricaba cajas registradoras, construía durante la guerra las máquinas Bombe para la Armada estadounidense. El ingeniero Joseph Desch lideraba este trabajo.

El plan de la Armada estadounidense era de gran envergadura. Dicha escala se derivaba de la propia estructura de Enigma. En la máquina Enigma de 4 rotores a la que se enfrentaba la Armada estadounidense, los 3 rotores principales se elegían e insertaban en orden a partir de 8 disponibles. El cuarto rotor se seleccionaba aparte de estos 3. Puesto que en la primera posición podían colocarse 8, en la segunda los 7 restantes y en la tercera los 6 sobrantes, 8 multiplicado por 7 y por 6 arrojaba un total de 336 combinaciones posibles. El plan estadounidense consistía en asignar una máquina a cada una de estas combinaciones, construyendo 336 Bombes.

La perspectiva de Turing era diferente. Consideraba preferible incrementar la velocidad de cada máquina individual y reducir de antemano las combinaciones a comprobar mediante el razonamiento matemático, en lugar de multiplicar el número de aparatos. En su informe sobre la visita a Dayton, señaló que los estadounidenses debían concentrar sus esfuerzos en acelerar la velocidad de las Bombes. Desch y Turing discreparon respecto al diseño. Al final, las instalaciones de Dayton no fabricaron 336 máquinas, sino un total de 121.

Los Laboratorios Bell y el cifrado de voz

Turing tenía una segunda misión: inspeccionar el dispositivo de cifrado de voz que se estaba desarrollando en los Laboratorios Bell de Nueva York. El primer ministro británico Churchill y el presidente estadounidense Roosevelt conversaban por radioteléfono a través del Atlántico, pero el dispositivo de conversión de voz utilizado en aquel momento entrañaba el riesgo de ser interceptado por los alemanes. Para resolver este problema, los Laboratorios Bell estaban creando un nuevo aparato que más tarde se conocería como SIGSALY.

Las puertas del laboratorio no se abrieron con facilidad. La parte estadounidense insistía en que, por muy experto que fuera un aliado, no podían mostrar un dispositivo de máxima confidencialidad. Para que Turing pudiera examinar el aparato, el mariscal de campo británico John Dill tuvo que intervenir y solicitárselo directamente al general estadounidense George Marshall. Esta cuestión suscitó una importante disputa entre los servicios de inteligencia de ambos países.

En enero de 1943, Turing comenzó por fin sus labores en los Laboratorios Bell. El SIGSALY era un aparato colosal que ocupaba una habitación entera y pesaba decenas de toneladas. Este dispositivo convertía la voz en señales numéricas y luego las mezclaba utilizando como clave discos de fonógrafo grabados con ruido completamente aleatorio. El receptor debía poseer exactamente el mismo disco para poder recuperar la voz original.

Turing examinó matemáticamente si este dispositivo era verdaderamente seguro. El informe de evaluación que redactó desempeñó un papel crucial en la decisión de adoptar el sistema e instalarlo en Londres. A partir del verano de 1943, el SIGSALY se utilizó para las comunicaciones secretas entre Londres y Washington.

Conversaciones en la cafetería

En los Laboratorios Bell trabajaba un joven investigador llamado Claude Shannon. Shannon sería más tarde la persona que sentó las bases de la comunicación digital al fundar la teoría de la información. Turing conoció a Shannon durante esta visita, y ambos conversaron mientras almorzaban juntos en la cafetería de los laboratorios.

Ninguno de los dos podía revelar el trabajo confidencial que tenía asignado. Por ello, la conversación derivó hacia temas como las máquinas pensantes y las semejanzas entre el cerebro humano y las máquinas. Turing también le habló de su artículo sobre la máquina universal escrito en 1936. En plena guerra, se encontraban frente a frente las dos figuras que más tarde abrirían el camino a la computación y la inteligencia artificial.

El regreso a Bletchley Park

Turing regresó a Gran Bretaña en marzo de 1943. Mientras tanto, el puesto de responsable de la Hut 8 había sido asumido por Hugh Alexander, un excampeón de ajedrez. Alexander ya se encargaba de la gestión interna de la Hut 8 y era diestro en el trato con las personas. Para Turing, este cambio resultó más bien bienvenido, pues prefería resolver problemas antes que lidiar con papeleos y reuniones.

Que cambiara el responsable no significó que la contribución de Turing fuera infravalorada. Al recopilar más adelante la historia de la Hut 8, Alexander escribió que no cabía duda de que la razón principal del éxito de la sección habían sido las investigaciones de Turing. Liberado ya de la atadura a un único departamento, Turing asumió un papel de asesor para ayudar a resolver los problemas criptográficos más difíciles de todo Bletchley Park.

10.2. El dispositivo de cifrado de voz Delilah

El SIGSALY que conoció en los Laboratorios Bell le planteó un desafío a Turing. El SIGSALY era seguro, pero demasiado voluminoso. Un soldado en el campo de batalla no podía transportar un dispositivo que ocupaba una habitación entera. El reto consistía en averiguar si era posible ocultar y recuperar por completo la voz humana mediante circuitos electrónicos utilizando un equipo mucho más pequeño. Turing decidió construir él mismo un dispositivo de cifrado de voz que fuera compacto, ligero y apto para operaciones reales.

El laboratorio secreto de Hanslope Park

El lugar donde Turing instaló su nuevo laboratorio fue Hanslope Park. Se trataba de una instalación utilizada por la sección de seguridad radiofónica del servicio secreto de inteligencia británico, equipada con talleres donde era posible construir y probar directamente equipos electrónicos. Hoy en día, el Centro de Comunicaciones del Gobierno británico se encuentra en ese mismo emplazamiento.

Hanslope Park se encontraba a unos 16 kilómetros de Bletchley Park por caminos rurales, y Turing se desplazaba entre ambos lugares en bicicleta. Comenzó los trabajos en Delilah allí en 1943, y a partir de 1944 pasó a residir y trabajar de forma permanente en Hanslope Park.

El joven técnico Donald Bayley

En 1944, Donald Bayley, un técnico electricista graduado de la Universidad de Birmingham, llegó como ayudante de Turing. Nacido en 1921, Bayley era 9 años menor que Turing. El primer circuito de Turing que vio tenía cables intrincadamente enredados entre sí. Bayley recordaría más tarde que aquel circuito parecía una auténtica telaraña.

Ambos fueron maestros el uno para el otro. Bayley le enseñó a Turing habilidades de banco de trabajo como la soldadura y el cableado. Llamaba a Turing «Prof», abreviatura de «profesor», que era como lo llamaban todos en Bletchley y Hanslope. Turing, por su parte, enseñaba a Bayley y a sus colegas técnicos las matemáticas necesarias para el diseño de circuitos. Tras la cena, Turing impartía clases y Bayley tomaba notas minuciosas de su contenido. Aquellos apuntes se convirtieron en un libro de texto de matemáticas avanzadas para los técnicos de circuitos.

Cómo funcionaba Delilah

El funcionamiento de Delilah puede entenderse dividido en tres etapas.

En primer lugar, la voz se convierte en una señal eléctrica. La voz es una vibración del aire, es decir, una onda. En Delilah, la amplitud de esta señal se extraía a intervalos de tiempo regulares para emplearla en el cifrado. A este proceso se le llama muestreo. Aunque se trata de un concepto que se utiliza también en la grabación digital actual, en Delilah se

empleaban circuitos electrónicos analógicos para mezclar las amplitudes de la señal. Turing dejó además notas matemáticas en las que calculaba con qué frecuencia debía extraerse la señal para poder recuperar el sonido original.

A continuación, se mezcla la señal de clave. La máquina transmisora genera una señal de clave de apariencia irregular y la suma a la señal de voz según un método determinado. Con ello, el sonido del habla original se transforma en un ruido ininteligible.

Por último, el extremo receptor genera la misma señal de clave exactamente al mismo tiempo para restaurar la voz original a partir de la señal combinada. Sincronizar con absoluta precisión la señal de clave y el momento de funcionamiento de ambas máquinas constituía el núcleo del diseño de Delilah.

Este principio conectaba con las ideas que Turing había asimilado en Bletchley Park al ocuparse de los cifrados telegráficos alemanes. Aplicó el mismo concepto a la voz en lugar de a las letras. No obstante, a diferencia de las letras, la voz fluye sin interrupción, por lo que los circuitos de tubos de vacío debían operar con rapidez y exactitud. Turing y Bayley fueron perfeccionando los circuitos anotando puntualmente cada resultado experimental en un diario de trabajo.

El nombre de Delilah

Delilah es el nombre en inglés del personaje bíblico de Dalila. Dalila fue quien engañó al forzado Sansón para averiguar el secreto de su fuerza. El nombre de una embaucadora resultaba muy apropiado para un dispositivo concebido para engañar por completo a quien escuchara a escondidas ofreciéndole únicamente ruido. Este nombre no fue una ocurrencia solitaria de Turing: convocó un concurso para bautizar el aparato, y la propuesta ganadora fue la de su amigo Robin Gandy, quien más tarde se convertiría en su albacea testamentario.

Ocultar y restaurar la voz de Churchill

Por fin, Delilah estuvo terminada. Ambos realizaron una demostración ante funcionarios del gobierno británico. Al introducir en Delilah una grabación de un discurso del primer ministro Churchill, por el altavoz solo salía ruido. Sin embargo, al pasar por la máquina

receptora, la voz de Churchill volvía a escucharse con total claridad. La fecha exacta de esta demostración varía ligeramente según las fuentes: la casa de subastas Bonhams la sitúa a finales de 1944, mientras que otros investigadores consideran que tuvo lugar a principios de 1945.

El 8 de mayo de 1945, la rendición incondicional de Alemania puso fin a la guerra en Europa. Turing y Bayley celebraron la victoria dando juntos un largo paseo.

Una máquina que no llegó a utilizarse y la experiencia adquirida

Delilah no llegó a desplegarse en el verdadero campo de batalla. Cuando la máquina estuvo concluida, la guerra casi había terminado y no hubo tiempo para fabricarla en serie y distribuirla a las fuerzas armadas. También existían limitaciones inherentes a su diseño. Dado que Delilah se había concebido para líneas telefónicas o enlaces de radio de corta distancia, resultaba difícil de emplear en comunicaciones de largo alcance a través del Atlántico. En la práctica, solo se construyó un prototipo.

Aun así, aquellos 2 años supusieron un enorme aprendizaje para Turing. El matemático que antes calculaba sobre el papel se transformó en un técnico capaz de manipular personalmente tubos de vacío, soldar y reparar circuitos averiados. Aprendió con sus propias manos la velocidad con la que operaban los circuitos electrónicos y dónde solían surgir las averías. En el otoño de 1945, Turing pasaría a diseñar la computadora electrónica ACE en el Laboratorio Nacional de Física (NPL). En dicho diseño quedó plasmada íntegramente la experiencia adquirida en Hanslope Park.

Unos apuntes que salieron a la luz más de 70 años después

La historia de Delilah permaneció prácticamente desconocida durante mucho tiempo. Bayley conservó los documentos pertinentes hasta su fallecimiento en 2020. En noviembre de 2023, este conjunto documental, conocido como los «documentos de Bayley», salió a subasta en Londres y se vendió por 381.400 libras. Entre ellos se incluían cálculos y anotaciones manuscritas de Turing, diarios de experimentos y los apuntes de clase que Bayley había tomado.

El gobierno británico impidió que este valioso material saliera del país. En agosto de 2024 se decretó una suspensión temporal de su exportación al extranjero. Posteriormente se recaudó una suma superior a 397.000 libras, y en marzo de 2025 el King's College de Cambridge, donde Turing había estudiado e investigado, adquirió estos documentos. Los archivos fueron digitalizados e incorporados a la colección documental de Turing, a disposición de investigadores y estudiantes de todo el mundo.

10.3. La condecoración del silencio (OBE)

Una sola línea en la lista de honores

Al concluir la guerra, el gobierno británico otorgó condecoraciones a quienes habían servido al país. Turing fue uno de ellos. La distinción que recibió fue el grado de Oficial de la Orden del Imperio Británico, abreviado como OBE.

El gobierno británico publica los nombres de los condecorados en su boletín oficial, The London Gazette. En la página 3124 del número 37617 de The London Gazette, con fecha de 18 de junio de 1946, consta que Alan Mathison Turing, «empleado en un departamento del Ministerio de Asuntos Exteriores», recibía la OBE. Aunque algunas fuentes sitúan la decisión de concesión en 1945, la fecha publicada en el boletín oficial es junio de 1946.

En esa única línea no figuraba ni una sola palabra acerca de lo que había hecho. No se podía mencionar Enigma, ni la Bombe, ni el banburismus, ni Delilah. El modo en que recibió la condecoración también fue discreto. Turing no acudió al Palacio de Buckingham para recibirla. La medalla llegó por correo acompañada de una carta del rey, y se cuenta que Turing guardó esta condecoración en una lata que contenía tornillos, clavos y pernos.

El cerrojo de la Ley de Secretos Oficiales

La razón por la que Turing no podía hablar de sus méritos radicaba en la Ley de Secretos Oficiales (Official Secrets Act). Todas las personas que trabajaron en Bletchley Park y Hanslope Park juraron guardar el secreto de conformidad con esta ley. Dicho juramento no quedó sin efecto tras el fin de la guerra. No podía relatar lo que había hecho ni a su familia, ni a sus amigos, ni a los periodistas.

La madre de Turing tampoco fue una excepción. Su madre, Sara Turing, escribiría más adelante una biografía de su hijo. En ese libro relató que jamás recibió el menor indicio sobre en qué consistía el trabajo secreto de su hijo. Escribió además que, debido a ese silencio forzado, las cartas de su hijo se habían vuelto infrecuentes y breves. Incluso su propia madre vivió sin saber lo que su hijo había logrado durante la guerra.

Méritos desconocidos

Los científicos que desarrollaron el radar o la bomba atómica en esa misma guerra alcanzaron renombre tras el conflicto y dirigieron grandes laboratorios. La situación de Turing fue distinta. Aunque contribuyó a salvar incontables barcos de transporte y vidas humanas mediante el criptoanálisis, solo un reducido número de personas que compartían el secreto conocía ese hecho. Muchos historiadores consideran que la labor de los criptoanalistas de Bletchley Park acortó la guerra en unos 2 años. En el centro mismo de esa hazaña se encontraba Turing.

El silencio afectó también a las investigaciones de Turing después de la guerra. En el otoño de 1945, Turing ingresó en el Laboratorio Nacional de Física y comenzó a trabajar en la construcción de una computadora. La mayoría de las personas de aquel centro desconocía que Turing era alguien que había fabricado personalmente circuitos electrónicos durante la guerra. Turing no podía presentar su experiencia como prueba, por lo que tuvo que convencerlos de nuevo desde el principio.

Los secretos de Bletchley Park solo comenzaron a revelarse al mundo poco a poco a partir de la década de 1970. En 1974, con la publicación de un libro sobre el criptoanálisis en tiempos de guerra, se dio a conocer ampliamente la operación secreta de inteligencia denominada «Ultra». Habían transcurrido más de 20 años desde la muerte de Turing. Los detalles pormenorizados de Delilah no salieron a la luz hasta casi medio siglo más tarde, tras la subasta de los cuadernos de Bayley.

La condecoración guardada en una lata fue el reconocimiento oficial que recibió Turing, pero durante mucho tiempo nadie supo qué conmemoraba en realidad aquella distinción.

Capítulo 11: El NPL y el diseño de la computadora pionera ACE (1945-1948)

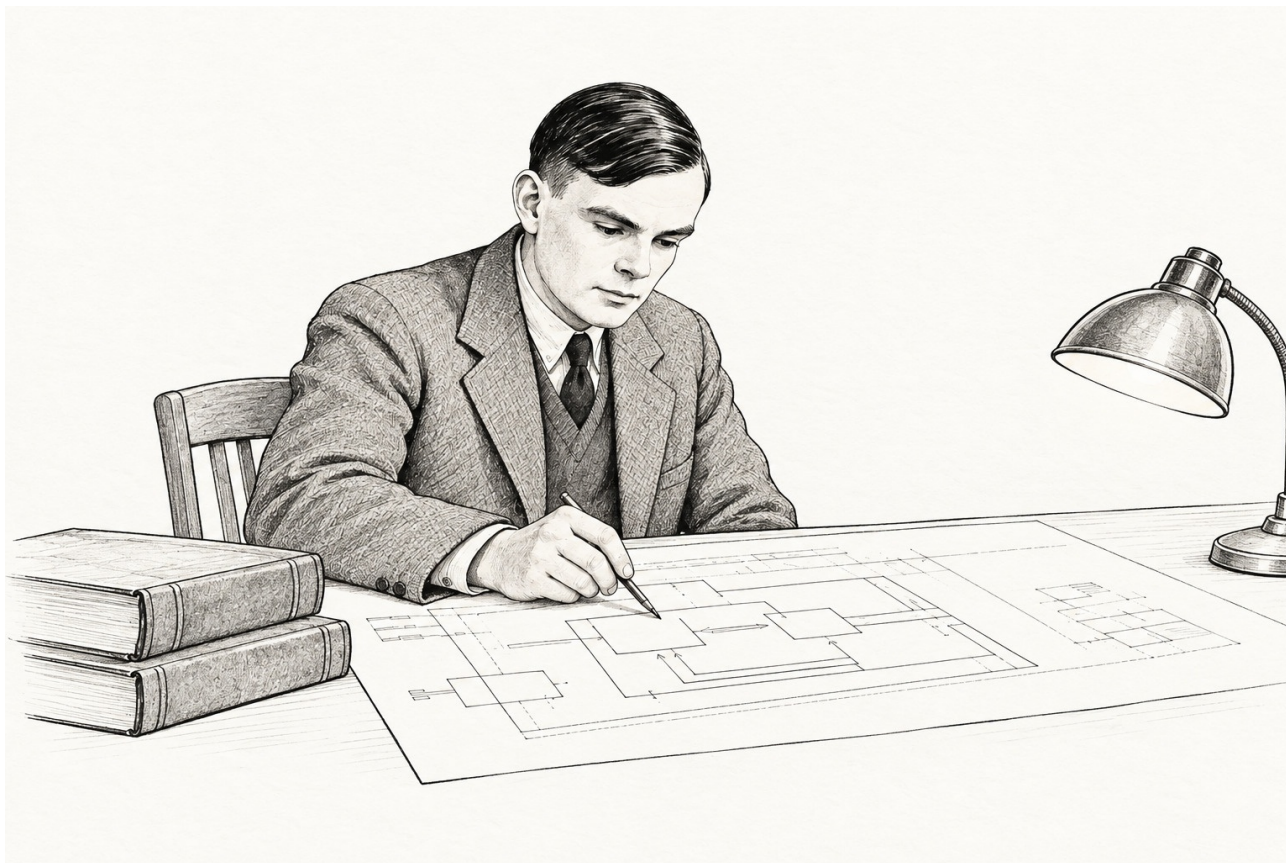


Figura 11. Ilustración que representa a Turing concibiendo el diseño de la computadora.

La 2.^a Guerra Mundial, que se prolongó durante casi 6 años, llegó a su fin en Europa en mayo de 1945. Al terminar la guerra, las personas que habían trabajado en Bletchley Park y Hanslope Park regresaron gradualmente a sus puestos originales, y Alan Turing también tuvo que buscar un nuevo camino. En junio de ese año, Turing celebró su 33.^o cumpleaños.

Durante la guerra, Turing manejó y observó de cerca diversas máquinas. Diseñó la Bombe para descifrar Enigma y también vio cómo Colossus, construida por sus colegas con miles de tubos de vacío, calculaba a gran velocidad. Hacia el final de la guerra, construyó personalmente el dispositivo de cifrado de voz Delilah, realizando él mismo las soldaduras. A través de estas experiencias, Turing llegó a tener una certeza: que con circuitos electrónicos hechos de tubos de vacío se podía construir en la realidad la 'máquina universal' que había dibujado sobre el papel en su artículo de 1936.

La máquina universal es la idea de que una sola máquina puede realizar cualquier cálculo. Aunque cambie lo que se debe calcular, no es necesario construir una nueva máquina; basta con cambiar las instrucciones que se introducen en ella, es decir, el programa. Las computadoras y los teléfonos inteligentes que usamos hoy en día funcionan precisamente con este principio. Esta es la razón por la que podemos jugar, consultar mapas y hacer tareas con el mismo teléfono inteligente. En el otoño de 1945, Turing tuvo la oportunidad de trasladar esta idea a una máquina real.

11.1 Incorporación al Laboratorio Nacional de Física (NPL)

En Teddington, al oeste de Londres, se encuentra el Laboratorio Nacional de Física del Reino Unido. Se le suele llamar NPL por las iniciales de su nombre en inglés, National Physical Laboratory. El NPL es un instituto de investigación gubernamental que establece los estándares nacionales de longitud, peso y tiempo, y lleva a cabo diversas investigaciones científicas.

Hacia el final de la guerra, el gobierno británico decidió crear una nueva división de matemáticas dentro del NPL. El plan consistía en aplicar a la ciencia y la industria la tecnología de cálculo que había avanzado enormemente durante la guerra. El responsable del nuevo departamento fue el matemático aplicado John R. Womersley. Womersley era una de las pocas personas que había leído el artículo de Turing de 1936, «Sobre números

computables, con una aplicación al Entscheidungsproblem», y había reconocido tempranamente su valor.

En aquella época, la mayoría de la gente consideraba las calculadoras como herramientas para una sola tarea. Una máquina que calculaba la trayectoria de los proyectiles de artillería solo hacía ese cálculo, y para realizar otros cálculos se necesitaba otra máquina. La gran calculadora electrónica ENIAC, completada en Estados Unidos en 1945, era similar. Aunque el ENIAC era una máquina gigantesca que utilizaba alrededor de 18.000 tubos de vacío, cada vez que se resolvía un nuevo problema, una persona tenía que desconectar y volver a conectar manualmente cada cable y cambiar los interruptores. Solo la preparación para el cálculo podía llevar varios días.

Womersley quería construir una gran calculadora electrónica en el NPL y eligió a Turing como la persona a quien encomendarle esta tarea. Al visitar a Turing, Womersley le mostró un informe recién llegado de Estados Unidos. Se trataba del «Primer borrador de un informe sobre el EDVAC», escrito en junio de 1945 por el matemático estadounidense de origen húngaro John von Neumann. Este informe describía la estructura básica de una computadora con programa almacenado, es decir, una computadora que funciona guardando el programa dentro de la propia máquina. Von Neumann conocía las investigaciones de Turing desde la época en que este estudiaba en Princeton. Womersley consideraba que muchas de las ideas centrales del informe sobre el EDVAC tenían su origen en Turing.

El 1 de octubre de 1945, Turing comenzó a trabajar como oficial científico principal en la división de matemáticas del NPL. Womersley dio al nuevo proyecto de computadora el nombre de ACE: Automatic Computing Engine, que significa 'máquina de cálculo automático'. La palabra Engine (motor o máquina) tenía su propia historia. En el siglo 19, el matemático británico Charles Babbage, al diseñar máquinas de cálculo accionadas por engranajes, las denominó 'máquina diferencial' y 'máquina analítica'. En homenaje a Babbage, Womersley incluyó la misma palabra en el ACE. Era un nombre que también conllevaba el significado de que Turing continuaba el sueño que Babbage había concebido 100 años atrás.

A diferencia del ENIAC, la computadora ideada por Turing no requería reconectar cables. Se dejaba la máquina tal como estaba y solo se introducían un nuevo programa y nuevos

datos. Así, la misma máquina podía calcular el clima hoy, calcular la carga que puede soportar un puente mañana y jugar al ajedrez pasado mañana. Turing no veía el ACE como una simple calculadora que hacía cuentas rápidas con números, sino como una máquina capaz de realizar diversas tareas intelectuales propias de la mente humana. Trasladar la máquina universal de 1936 a tubos de vacío y cables: esa era la tarea encomendada a Turing en el NPL.

11.2 El informe del ACE

Turing trabajó con rapidez. A finales de 1945, cuando aún no habían pasado 3 meses desde su llegada al NPL, completó el informe de diseño del ACE. El título era «Propuesta de calculadora electrónica (Proposed Electronic Calculator)». Este informe mecanografiado de 48 páginas incluía diagramas de circuitos, descripciones de componentes, el diseño de la memoria, el presupuesto e incluso ejemplos de programas que se podían ejecutar realmente. Si el informe sobre el EDVAC de von Neumann era un borrador incompleto que explicaba la estructura general, el informe de Turing se asemejaba a un plano de construcción listo para seguirse paso a paso.

El 19 de marzo de 1946, Turing expuso el plan del ACE ante el comité ejecutivo del NPL, y el comité acordó seguir adelante con el proyecto. Turing calculó que construir el ACE costaría 11.200 libras. El informe también detallaba las tareas que el ACE podría realizar. Turing consideraba que el ACE no solo podía efectuar cálculos científicos complejos, sino también resolver acertijos y anticipar varias jugadas en el ajedrez.

La parte que Turing abordó con detalle en el informe fue la memoria. Para que una computadora funcione, debe almacenar programas y números en algún lugar; a este dispositivo se le llama dispositivo de memoria o memoria. Turing pensaba que el problema más difícil en el diseño de computadoras era la memoria, y que si se resolvía este problema, los circuitos restantes serían relativamente sencillos. En aquella época no existían las memorias de semiconductores actuales. Si se construía la memoria con tubos de vacío, se necesitaban varios tubos para almacenar un solo número, por lo que el costo y el tamaño resultaban inasumibles.

El método que eligió Turing fue la línea de retardo de mercurio. La línea de retardo de mercurio era un dispositivo surgido de la tecnología de radar durante la guerra. Se llenaba

un tubo de acero de aproximadamente 1,5 metros (5 pies) de longitud con mercurio, un metal líquido, y se fijaban piezas de cristal de cuarzo en ambos extremos. El cristal convierte las señales eléctricas en señales acústicas, y las señales acústicas de nuevo en señales eléctricas. Si se envía desde un extremo un pulso acústico que representa 0 y 1, el sonido viaja a través del mercurio y llega al extremo opuesto. Al reenviar esta señal al punto de partida, los números circulan sin cesar dentro del tubo. La máquina memoriza los números haciéndolos circular continuamente. Resulta fácil de entender si imaginamos a corredores dando vueltas sin parar en la pista de un estadio: es como si cada corredor llevara un número mientras corre.

Turing planeaba conectar alrededor de 200 de estos tubos. Como un solo tubo podía almacenar unos 1.024 ceros y unos (0 y 1), en total equivalía a unos 200.000. Traducido a las unidades de hoy en día, son aproximadamente 25 kilobytes. Aunque es mucho más pequeño que una sola foto tomada hoy con un teléfono inteligente, en 1946 era una memoria enorme que nadie había tenido jamás.

Turing también conocía el punto débil de la línea de retardo de mercurio. Como los números circulaban por el tubo, había que esperar hasta que el número deseado llegara a la salida del tubo. Si el tiempo de espera era largo, el cálculo se ralentizaba. Por ello, Turing dispuso minuciosamente las posiciones dentro de la memoria para que la siguiente instrucción y el siguiente número que se fueran a utilizar llegaran a la salida justo en el momento necesario. Más tarde, la gente llamó a este método 'programación óptima'. Este método buscaba reducir el tiempo de espera en la línea de retardo y aumentar así la velocidad de cálculo.

Turing también determinó la velocidad de la máquina. Las computadoras trabajan al compás de un ritmo regular, y a este ritmo se le llama reloj. Turing fijó el reloj del ACE en 1 megahercio. Esto significa que marcaba el compás 1.000.000 de veces en 1 segundo. Para los estándares de aquella época, era una velocidad rápida.

El diseño del ACE albergaba otra idea muy característica de Turing: utilizar la menor cantidad posible de piezas mecánicas y electrónicas y delegar las tareas complejas en el programa. Los ingenieros estadounidenses creaban circuitos dedicados por separado para la multiplicación o la división, y a medida que aumentaban los circuitos, también aumentaba el número de tubos de vacío. Turing no siguió este método. Hizo que la

máquina solo se encargara de instrucciones simples como la suma, la resta y el desplazamiento de números, mientras que cálculos como la multiplicación, la división y la raíz cuadrada se resolvían mediante programas que encadenaban instrucciones simples varias veces. Turing llamó a estos programas 'tablas de instrucciones (instruction tables)'.

Había una razón para diseñar de este modo. Los tubos de vacío eran componentes que se fundían con facilidad, como las bombillas, de modo que cuantos más hubiera, más a menudo se detenía la máquina. Al reducir los tubos de vacío, disminuían las averías y la fabricación resultaba más sencilla. Turing intentó hacer la máquina más ligera y compensar las carencias con programas bien estructurados. Consideraba que escribir programas era precisamente lo que él mismo venía haciendo desde 1936. Décadas más tarde, los diseñadores de computadoras redescubrieron este método de simplificar las instrucciones al mínimo para ganar velocidad, y el diseño de Turing se considera un ejemplo pionero de esa concepción.

Para confiar muchas tareas al programa, también era necesario un método para programar de forma eficiente. El informe contenía la idea de las subrutinas: un método en el que los cálculos de uso frecuente se crean por separado como pequeños programas, se invocan cada vez que se necesitan y luego se regresa al punto original. Es similar a escribir 'cómo hacer la salsa' una sola vez en un libro de cocina y hacer referencia a esa página en varias recetas. Hoy en día, los programadores utilizan este método a diario.

El 20 de febrero de 1947, Turing dio una conferencia sobre el ACE en la Sociedad Matemática de Londres. En esa ocasión, Turing dio un paso más allá de la explicación del diseño. Declaró que lo que deseamos es una máquina que aprenda de la experiencia. Era la idea de que una máquina podía mejorar progresivamente modificando sus propias instrucciones. En un momento en que todavía no existía en el mundo ni una sola computadora con programa almacenado que funcionara correctamente, Turing ya estaba hablando de máquinas que aprenden.

11.3 El muro de la burocracia y el año sabático en Cambridge

Aunque los planos eran excelentes, la construcción de la máquina apenas avanzaba. Los obstáculos eran diversos.

El mayor problema era el personal. En la división de matemáticas del NPL había muchos matemáticos, pero faltaban ingenieros y técnicos electrónicos que pudieran construir directamente los circuitos de tubos de vacío. Turing quería obtener la ayuda de Tommy Flowers y Allen Coombs, los ingenieros de la Estación de Investigación de la Oficina de Correos (Dollis Hill) que habían construido Colossus durante la guerra. Sin embargo, el centro de investigación de Dollis Hill estaba ocupado de lleno en la reparación de la red telefónica dañada por la guerra.

El secreto también fue un obstáculo. Colossus era un secreto de Estado. Turing no podía revelar a la gente del NPL que durante la guerra una máquina electrónica con miles de tubos de vacío ya había estado funcionando sin interrupción. Sus colegas del NPL, que desconocían la existencia de Colossus, pensaban que el ACE era un sueño demasiado desmesurado.

El ritmo de trabajo en el instituto también era lento. El director del NPL era Sir Charles Darwin, nieto del célebre Charles Darwin conocido por la teoría de la evolución. El director Darwin era un administrador prudente que decidía cada asunto uno por uno a través de reuniones y documentos. Las discusiones sobre qué división construiría la máquina y cómo se dividiría el trabajo con otros laboratorios se prolongaron durante mucho tiempo. También surgió la opinión de empezar construyendo una pequeña máquina de prueba. Sin embargo, Turing prefería ir directamente a por la máquina completa en lugar de gastar tiempo en un modelo de prueba. Al final, aquella máquina de prueba tampoco llegó a completarse.

Turing se fue agotando gradualmente. Mientras su diseño permanecía atrapado bajo montones de papeles, los equipos de investigación de otros países y otras universidades avanzaban a gran distancia por delante. Turing desahogaba su frustración corriendo. Durante su etapa en el NPL, se unió al cercano Walton Athletic Club y practicó carreras de larga distancia. Se cuenta incluso que los días en que tenía una reunión en Londres, corría desde el instituto hasta el lugar de la reunión. En agosto de 1947, participó en el maratón de la Asociación de Atletismo Amateur británica (AAA) y obtuvo el 5.º puesto con un tiempo de 2 horas, 46 minutos y 3 segundos. Era una marca con la que incluso se podía aspirar a la selección para los Juegos Olímpicos de Londres de 1948. Sin embargo, al sufrir una lesión en la pierna, no pudo hacer realidad ese sueño.

En el otoño de 1947, Turing solicitó al NPL un año sabático de 1 año y regresó al King's College de Cambridge. Un año sabático es un período en el que un investigador se aparta temporalmente de su trabajo habitual para descansar o emprender nuevos estudios. Tras la marcha de Turing, el equipo del ACE en el NPL pasó a ser dirigido por Jim Wilkinson, quien había sido su asistente.

En Cambridge, Turing inició nuevos estudios. Con el deseo de entender cómo funcionan el cerebro y los nervios humanos, profundizó en la fisiología y la neurología. Consideraba que para construir una máquina pensante primero era necesario comprender el cerebro, el órgano del pensamiento. Estos estudios darían lugar más tarde a sus investigaciones destinadas a descifrar mediante las matemáticas los patrones que aparecen en el cuerpo de los seres vivos.

En el verano de 1948, Turing recopiló las reflexiones que había acumulado y presentó un informe al NPL. El título era «Maquinaria inteligente (Intelligent Machinery)». Se trataba de un texto que examinaba en detalle cómo construir la máquina capaz de aprender que había mencionado en su conferencia ante la Sociedad Matemática de Londres. Hoy en día, muchos académicos consideran este texto como uno de los primeros informes que abordó seriamente la inteligencia artificial.

En el informe, Turing presentó el concepto de 'máquinas desorganizadas'. Su punto de partida era diferente al de las máquinas diseñadas con precisión desde el principio para realizar una tarea específica. Turing concibió un modelo similar a una red en la que diversos componentes electrónicos se conectaban al azar. Y consideró que si se entrenaba esta red otorgándole premios y castigos, las conexiones buenas se conservarían y las malas se modificarían, de modo que la red se desarrollaría por sí misma hasta convertirse en una máquina útil. Es similar al modo en que un niño aprende al recibir elogios y regaños. Es una idea semejante a las 'redes neuronales artificiales' que hoy están en el centro de la inteligencia artificial.

Turing también describió la idea de la 'búsqueda genética' o 'búsqueda evolutiva'. Es un método según el cual se puede encontrar una buena respuesta modificando al azar diversas respuestas poco a poco, eligiendo las mejores entre ellas y repitiendo el proceso de modificación. En cierto sentido, tomó prestado para el cálculo el modo en que los seres

vivos han evolucionado a lo largo de mucho tiempo. Es una idea que más tarde se desarrollaría con el nombre de 'algoritmos genéticos'.

En este informe, Turing contempló a la vez 2 caminos para dotar de inteligencia a una máquina. Uno es el camino en el que un ser humano define las reglas de antemano y las introduce en la máquina; el otro es el camino en el que la máquina adquiere experiencia y aprende por sí misma. Turing no se aferró a una sola opción. Pensaba que, al igual que un niño aprende contenidos establecidos en la escuela pero también comprende por sí mismo a través del juego y la experiencia, una máquina podía transitar por ambos caminos simultáneamente.

Sin embargo, el director Darwin no acogió con agrado este informe. Lo consideró poco más que una redacción descuidada escrita por un estudiante. El NPL no publicó el informe en forma de libro, y «Maquinaria inteligente» permaneció durante mucho tiempo dentro de los archivadores del instituto. Este texto no se publicó por primera vez como libro hasta 1968, 14 años después del fallecimiento de Turing.

Por la misma época, llegaron noticias desde Mánchester. Max Newman, quien había enseñado lógica a Turing en su etapa de Cambridge y había trabajado con él en Bletchley Park, se había convertido en profesor de la Universidad de Mánchester y había fundado un laboratorio de máquinas de cálculo. Los ingenieros de radar Freddie Williams y Tom Kilburn construyeron allí una pequeña computadora electrónica. La gente llamó a esta máquina el 'Manchester Baby'. El 21 de junio de 1948, el Manchester Baby logró ejecutar con éxito un programa almacenado en su memoria. Fue el primer momento en que una computadora electrónica que funcionaba guardando el programa dentro de la máquina operó realmente.

La decisión de Turing de cambiar de trabajo se produjo antes de la primera ejecución del Baby. En la primavera de 1948 aceptó la propuesta de Newman, y en mayo comunicó al NPL su intención de dimitir. En septiembre de ese mismo año comenzó a trabajar en la Universidad de Mánchester.

Incluso después de la partida de Turing, el diseño del ACE sobrevivió. Wilkinson y sus colegas Donald Davies, Mike Woodger y otros redujeron la escala del diseño de Turing para construir una máquina pequeña. Esta máquina fue el 'Pilot ACE'. El Pilot ACE ejecutó su

primer programa el 10 de mayo de 1950. Aunque solo contaba con unos 800 tubos de vacío, muchos menos que los 18.000 del ENIAC, funcionaba al compás de 1 megahercio, tal como lo había fijado Turing. A principios de la década de 1950, el Pilot ACE era una de las computadoras más rápidas del mundo. La empresa británica English Electric construyó, a partir de esta máquina, la computadora comercial DEUCE y comenzó a venderla en 1955. El ACE con el tamaño que Turing había concebido inicialmente no se completó hasta 1958.

Durante los 3 años que pasó en el NPL, Turing no llegó a ver ni una sola computadora completada con sus propias manos. Aun así, durante este período trazó los planos detallados de la computadora con programa almacenado y planteó al mundo la nueva pregunta sobre las máquinas que aprenden. El Pilot ACE se encuentra actualmente en el Museo de Ciencias de Londres. Y en el reverso del billete de 50 libras recién emitido por el Reino Unido en junio de 2021, figura la imagen de esta máquina junto al rostro de Turing.

Capítulo 12. La Universidad de Mánchester y la primera computadora de programa almacenado (1948–1951)



Figura 12. Representación del período en que se investigaban las primeras computadoras.

En 1948, Alan Turing, a sus 36 años, llevaba más de 2 años dedicado al diseño de computadoras en el Laboratorio Nacional de Física (NPL), en Teddington, cerca de Londres. Su propuesta de diseño para la calculadora automática ACE era un diseño de computadora notablemente detallado para la época. Sin embargo, disponer de un diseño no garantizaba que la máquina fuera a construirse. Faltaban ingenieros encargados de la fabricación y las decisiones siempre se demoraban. Turing, que deseaba convertir en una máquina electrónica real la 'máquina universal' concebida sobre el papel en 1936, se estaba sintiendo exhausto.

En aquel momento, un matemático al que conocía desde hacía tiempo llamó a Turing: era el profesor Max Newman, de la Universidad de Mánchester.

12.1. La invitación de Max Newman y el traslado

La relación entre Turing y Newman comenzó en Cambridge. En 1935, Turing asistió a las clases de 'Fundamentos de las matemáticas' impartidas por Newman. En este curso, Newman presentó el 'problema de la decisión', planteado por el matemático alemán David Hilbert. Se trataba de la cuestión de si, dada cualquier proposición lógica, era posible determinar siempre, siguiendo un procedimiento constante y mecánico, si dicha proposición podía ser demostrada mediante reglas lógicas establecidas. Tras forcejear con esta pregunta, Turing escribió en 1936 su artículo 'Sobre los números computables', del cual surgieron los conceptos de máquina de Turing y máquina universal.

Ambos volvieron a encontrarse durante la Segunda Guerra Mundial en Bletchley Park. Newman dirigía una sección llamada 'Newmanry', dedicada a descifrar el cifrado Lorenz utilizado por el alto mando alemán. Para este propósito, el ingeniero Tommy Flowers construyó una máquina descifradora electrónica llamada Colossus con miles de tubos de vacío. Aunque Colossus era rápida, solo podía realizar una única tarea: descifrar códigos; para encomendarle otra labor, era necesario cambiar a mano los interruptores y los cables. Allí, Newman y Turing observaron directamente la enorme rapidez con la que los circuitos electrónicos podían calcular. Si se lograba almacenar un programa en un circuito rápido, resultaría posible cambiar el programa y procesar diversos tipos de problemas computables con una sola máquina.

Finalizada la guerra, Newman pasó a ser profesor de matemáticas puras en la Universidad de Mánchester. En 1946, fundó el 'Laboratorio de Máquinas de Cálculo' tras recibir una cuantiosa subvención de investigación de 35,000 libras por parte de la Royal Society británica. Por otro lado, al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Mánchester llegaron dos ingenieros que habían investigado el radar durante la guerra: Freddie Williams y Tom Kilburn. Poco después, Geoff Tootill se incorporó a ellos.

Williams y Kilburn descubrieron una forma de almacenar 0 y 1 empleando tubos de rayos catódicos (CRT), utilizados en las pantallas de radar. Al trazar un pequeño punto de luz sobre la pantalla del tubo de rayos catódicos, en ese lugar permanecía electricidad durante un breve instante. Al repetir la operación de leer este rastro y reescribirlo, era posible retener números en la memoria. Este dispositivo se conoce como 'tubo de Williams-Kilburn'. Por aquel entonces, otros laboratorios recurrían a un método que hacía circular señales acústicas a través de largos tubos llenos de mercurio, un sistema en el que había que esperar a que el número deseado llegara al final del tubo. En cambio, el tubo de Williams-Kilburn permitía leer de inmediato el número de cualquier posición. El hecho de leer datos en la posición deseada sin necesidad de esperar en secuencia se corresponde con la actual memoria RAM.

Con fondos de investigación, laboratorio, personal técnico y dispositivos de memoria listos en Mánchester, Newman invitó a Turing. Turing dejó el NPL y, en septiembre de 1948, asumió el puesto de Reader en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Mánchester. El rango de Reader es la categoría académica inmediatamente inferior a la de profesor titular. También se le otorgó el cargo de 'subdirector del Laboratorio de Máquinas de Cálculo de la Royal Society'. Sin embargo, en aquel laboratorio no había director alguno. Los antiguos registros de la Universidad de Mánchester señalan que este nombramiento era meramente nominal y que, en un principio, ni siquiera estaba claro qué tareas oficiales correspondían a Turing.

Incluso antes de mudarse a Mánchester, Turing mostró interés por la máquina de allí. Recibió por anticipado la lista de instrucciones que la máquina ejecutaba, y escribió y envió un programa para realizar divisiones largas. Tootill modificó este programa para que pudiera ejecutarse en la máquina.

El trabajo en el laboratorio de Mánchester se dividía principalmente en dos partes. El equipo de ingenieros liderado por Williams y Kilburn construía el cuerpo de la máquina, tales como los circuitos de tubos de vacío y los dispositivos de memoria. Turing se encargaba del método para realizar cálculos reales con dicha máquina, es decir, de la parte de programación. Los ingenieros que soldaban la máquina con sus propias manos y el matemático Turing, que ideaba la máquina con papel y lápiz, poseían estilos de trabajo distintos y a veces sus opiniones diferían. Pese a ello, a Turing le agradaba trabajar en Mánchester, donde una computadora electrónica real operaba ante sus ojos.

12.2. La Manchester Baby, la Mark 1 y el manual del programador

Unos 3 meses antes de que Turing llegara a Mánchester, tuvo lugar allí un acontecimiento crucial en la historia de la informática. Poco después de las 11:00 de la mañana del 21 de junio de 1948, una pequeña máquina experimental ejecutó su primer programa. El nombre formal de la máquina era 'Máquina Experimental de Pequeña Escala (SSEM)', pero la gente la llamaba 'Baby'.

La Baby no fue una máquina diseñada desde el principio como una calculadora práctica. Se trataba de un dispositivo concebido para comprobar si los tubos de Williams-Kilburn funcionaban adecuadamente. Su capacidad de memoria era de 32 números de 32 bits cada uno, lo que sumaba 1,024 bits en total. En comparación con los teléfonos móviles de hoy, era una cantidad diminuta. Aun así, la Baby leía y ejecutaba por sí misma el programa que se había introducido en su memoria. Sin necesidad de reconectar cables como en Colossus, bastaba con cambiar el contenido de la memoria para asignarle otra labor. Esta es la 'computadora de programa almacenado'. La Baby fue la primera computadora electrónica del mundo que funcionó de este modo en la práctica.

El primer programa lo escribió Tom Kilburn. Era un programa para encontrar el mayor divisor propio de un número, es decir, el más grande de sus divisores excluyendo el propio número. Al principio realizaron pruebas con números pequeños y, al cabo de unos días, ampliaron el rango de pruebas hasta 262,144, el número resultante de multiplicar 2 por sí mismo 18 veces. El mayor divisor propio de 262,144 es 131,072. Aunque una persona reconocería la respuesta de inmediato, la máquina debía hallarla probando divisiones una por una a partir de los números mayores. En este cálculo, la Baby funcionó de manera

ininterrumpida durante 52 minutos y finalmente mostró la respuesta correcta mediante puntos de luz en la pantalla. Esto demostró que las ideas formuladas por Turing en su artículo de 1936 funcionaban sobre una máquina física.

Tras el éxito de la Baby, los investigadores emprendieron rápidamente la tarea de ampliarla. La computadora así desarrollada fue la 'Manchester Mark 1', que quedó a disposición de los usuarios en abril de 1949. La memoria se amplió a 128 números de 40 bits. También añadieron un 'tambor magnético', que grababa números de forma magnética sobre la superficie de un cilindro en rápida rotación. El planteamiento consistía en mantener el contenido de uso habitual en los veloces tubos de rayos catódicos y almacenar la gran cantidad de datos en el tambor. Esto se asemeja a cómo las computadoras contemporáneas disponen de memoria y almacenamiento por separado.

La Mark 1 incluyó asimismo un dispositivo denominado 'línea B'. Cuando un mismo cálculo se repetía varias veces, este dispositivo cambiaba de manera automática la posición del siguiente número por leer. Hoy en día se denomina 'registro de índice' y se encuentra en casi todas las computadoras. Al rendir homenaje a la Baby, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) registró que la Mark 1 fue la primera máquina en incorporar registros de índice.

En cuanto la Mark 1 estuvo lista para su uso, Turing comenzó a trabajar de inmediato con ella. Hasta ese momento, los programas debían ingresarse pulsando interruptores uno tras otro. En el verano de 1949, Turing consiguió un aparato para ingresar y volcar programas y números mediante cinta de papel perforada, y colaboró en conectarlo a la Mark 1.

En aquellos días, el empeño de Turing se centró en estructurar la manera en que los seres humanos instruían a las computadoras. Hoy se emplean palabras legibles por humanos, como 'print', en los lenguajes de programación. Sin embargo, las computadoras de entonces solo procesaban 0 y 1. Turing agrupó los 0 y 1 en bloques de 5 dígitos para representarlos mediante una letra o un símbolo. Con 5 dígitos de 0 y 1 se pueden expresar 32 combinaciones distintas. Turing tomó los códigos de caracteres utilizados en los teletipos y los hizo corresponder uno a uno con estas 32 variantes. Los programadores redactaban sus programas con estos símbolos en lugar de largas secuencias de 0 y 1. Si bien este procedimiento reducía los errores de los usuarios, a los principiantes continuaba pareciéndoles un código ininteligible.

Turing diseñó programas breves e independientes para los cálculos de uso más frecuente. A estos se les llama 'subrutinas'. Existían subrutinas para obtener raíces cuadradas, logaritmos y funciones trigonométricas, además de subrutinas para imprimir los resultados en cinta de papel. Dado que los programadores podían invocarlas siempre que las necesitaran, no tenían que escribir el mismo cálculo desde cero en cada ocasión. Es el mismo concepto que sustenta las 'bibliotecas' empleadas hoy por los programadores. Turing fijó también las reglas para transferir números entre la memoria de tubos de rayos catódicos y el tambor magnético en bloques denominados 'páginas'.

Turing no realizó esta labor solo. Cicely Popplewell, con formación en matemáticas, trabajó como asistente de Turing y redactó programas para la Mark 1. Los registros de la Universidad de Mánchester consignan que Turing preparó el software inicial de la Mark 1 con la asistencia a tiempo completo de Popplewell.

Turing compiló estas observaciones en un manual. El título era 'Manual del programador para la calculadora electrónica Mark II de Mánchester'. La aparición de 'Mark II' en el título respondía a que Turing denominaba así a la nueva máquina de la empresa Ferranti que estaba por entregarse. Redactó el manual antes de la llegada de la máquina, apoyándose en la experiencia adquirida al operar la Mark 1. Un ejemplar conservado de la primera edición incluye una fe de erratas fechada en marzo de 1951. Gran número de historiadores considera este volumen como la primera guía de programación del mundo redactada para una computadora de programa almacenado.

En esta guía, Turing explicó además qué era una calculadora electrónica. Su pensamiento se puede sintetizar de este modo: una calculadora electrónica es una máquina que realiza los cálculos que antes ejecutaba un ser humano que se ceñía con exactitud a reglas preestablecidas. Esa persona sabe cómo calcular, pero no juzga por sí misma. Turing no concebía la computadora como un cerebro enigmático, sino como un calculador sumamente veloz que acata todas las reglas sin pasar por alto ninguna.

El manual contenía también una instrucción llamativa: el comando 'hoot' (pitido). Era una instrucción que hacía sonar un pitido en el altavoz conectado a la computadora, concebido en origen como una señal para advertir al operador frente a la máquina de que el cálculo había terminado. No obstante, al emitir este sonido de forma reiterada y rápida, se lograba

producir tonos de diferentes alturas. Turing describió este procedimiento en el manual, lo que andando el tiempo constituyó el punto de partida de la música por computadora.

La computadora de Mánchester captó la atención incluso fuera del laboratorio. El 9 de junio de 1949, el neurocirujano Geoffrey Jefferson, de Mánchester, ofreció una conferencia titulada 'La mente del hombre mecánico'. Sostuvo que las máquinas no podían pensar ni sentir como las personas. Al día siguiente, la prensa cubrió la disertación y un reportero visitó a Turing. En la edición del 11 de junio de 1949 de *The Times* se publicó un artículo titulado 'Cerebro mecánico: resolución de un cálculo de 300 años de antigüedad'. Dicho 'cálculo de 300 años de antigüedad' aludía a determinar cuáles números, obtenidos al multiplicar 2 sucesivamente y restar 1, eran primos. Tales valores se conocen como números de Mersenne. Newman y Turing se habían preparado desde el verano de 1948 para abordar este problema con la máquina de Mánchester.

En aquel reportaje, Turing declaró: 'Esto es solo un anticipo de lo que vendrá, y únicamente la sombra de lo que ha de ser'. Consideraba que las máquinas ingresarían en terrenos propios de la inteligencia humana y que algún día rivalizarían con las personas. 72 años después, en 2021, el Reino Unido emitió un nuevo billete de 50 libras con el retrato de Turing. Esas mismas palabras figuran impresas en el billete.

Turing desarrolló también sus propias investigaciones con la Mark 1. En 1950, ensayó con esta máquina cálculos concernientes a la hipótesis de Riemann, un antiguo enigma no resuelto de las matemáticas. Ese mismo año dio a conocer su artículo 'Maquinaria computacional e inteligencia'. Aquel escrito examinaba la interrogante de si las máquinas pueden pensar.

12.3. Consultoría para la computadora comercial de Ferranti

Las noticias del éxito de la Baby llegaron a oídos del gobierno británico. El Ministerio de Suministros resolvió transferir la tecnología de la Universidad de Mánchester al sector empresarial para fabricar una computadora con fines de comercialización. A finales de 1948, el gobierno suscribió un contrato con Ferranti, una empresa eléctrica de Mánchester. Se trataba de que la compañía reconstruyera de manera sólida la máquina nacida en el laboratorio universitario para su venta. En julio de 1949, el diseño fundamental del nuevo equipo fue entregado a Ferranti.

Turing asumió el papel de asesor de Ferranti. Formuló recomendaciones a los ingenieros de la firma sobre el diseño de la nueva máquina y las normas de programación, y sus sugerencias se plasmaron en diversas partes del dispositivo.

El ejemplo más representativo fue el 'generador de números aleatorios'. Se trata de un aparato que produce números imprevisibles, de manera similar a tirar dados. Por sugerencia de Turing, la Ferranti Mark 1 incorporó un dispositivo que generaba números aleatorios valiéndose del ruido de los circuitos electrónicos. Estas cifras resultan muy útiles en cálculos que modelan fenómenos con factores aleatorios, como el clima o la biología, así como en programas de juegos. En la nueva máquina, las líneas B se incrementaron a 8 y el catálogo de instrucciones se amplió todavía más.

La postura de Turing era mantener los circuitos de la máquina lo más simples posible y delegar las tareas complejas en los programas. Cada tubo de vacío añadido representaba un posible punto de falla adicional e incrementaba los costes. En cambio, una vez que un programa quedaba bien elaborado, podía reutilizarse infinidad de veces. Esta postura daba continuidad a la visión que Turing sostenía desde 1936: que con una única 'máquina universal' se podían procesar diversas clases de problemas computables con solo modificar el programa.

En febrero de 1951, la primera computadora fabricada por Ferranti fue entregada en el laboratorio de Turing en la Universidad de Mánchester. Se la conoció como 'Ferranti Mark 1'. La Ferranti Mark 1 fue la primera computadora electrónica de propósito general del

mundo fabricada y comercializada por una empresa. Se anticipó por unas semanas a la UNIVAC I, la primera computadora fabricada para la venta en Estados Unidos.

Al llegar la nueva máquina, el manual de Turing desempeñó la función de guía del usuario. Todo aquel que quisiera servirse de este equipo aprendió a programar mediante ese manual. Entre ellos se hallaba Christopher Strachey, amigo de Turing. En 1951, Strachey creó con esta máquina un programa para el juego de damas, y desarrolló asimismo un programa que interpretaba música mediante la instrucción 'hoot'. Ese mismo año, la cadena británica BBC se desplazó a Mánchester y grabó la interpretación por parte de la computadora del himno nacional británico, 'Baa Baa Black Sheep' e 'In the Mood'. La Computer Conservation Society ha manifestado que no tiene conocimiento de ninguna grabación de música por computadora anterior a esa.

La Ferranti Mark 1 se empleó en los cálculos de diversos científicos e ingenieros. Turing también utilizó esta máquina para calcular los principios según los cuales se forman los patrones en los seres vivos.

Hacia 1951, Turing se distanció paulatinamente de la construcción de computadoras en Mánchester. La tarea de asistir a los programadores recayó en el recién incorporado Tony Brooker. Con todo, las aportaciones preparadas por Turing continuaron plenamente vigentes: el método de escribir instrucciones con símbolos, el sistema de agrupar subrutinas y el manual para enseñar a programar a los usuarios. Por más que exista una máquina, una computadora carece de utilidad si no se cuenta con un método para ordenarle que trabaje. En Mánchester, Turing estableció el marco inicial de ese método.

En 1948 funcionó la computadora electrónica de programa almacenado construida por el equipo técnico de Mánchester, y en 1951 apareció además la máquina comercial. Las teorías acerca del cálculo maduraron hasta transformarse en máquinas y programas reales gracias a la labor de numerosos investigadores e ingenieros. En ese proceso, Turing aportó a la teoría, al diseño y a la programación, y prosiguió al mismo tiempo sus investigaciones sobre la inteligencia de las máquinas.

Capítulo 13. El test de Turing: ¿pueden pensar las máquinas? (1950)

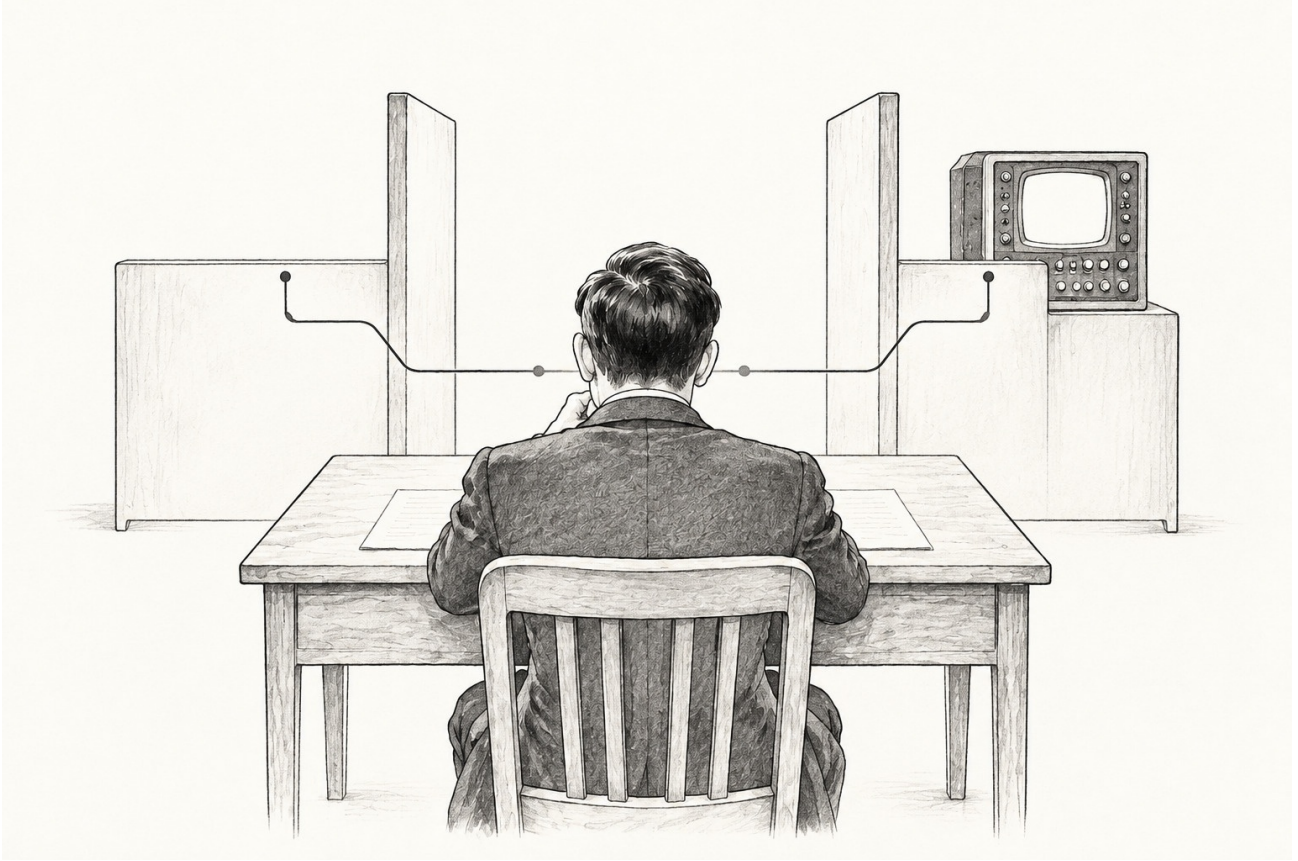


Figura 13. Diagrama conceptual del juego de imitación que distingue entre un ser humano y una máquina mediante el diálogo.

En octubre de 1950, en el volumen 59, número 236 de la revista británica de filosofía *Mind*, se publicó un artículo de 28 páginas. El título era «Computing Machinery and Intelligence» («Maquinaria computacional e inteligencia»), y el autor era Alan Turing, un matemático de 38 años que trabajaba como subdirector del Laboratorio de Máquinas de Computación de la Universidad de Mánchester. El artículo comienza con una breve pregunta: «¿Pueden pensar las máquinas?».

Hoy en día, muchas personas consideran este artículo como el punto de partida de la investigación en inteligencia artificial. Sin embargo, en 1950, cuando se publicó el artículo, la expresión «inteligencia artificial» todavía no existía. Este término apareció por primera vez en 1955 en una propuesta de investigación redactada por John McCarthy y sus colegas en Estados Unidos, y se difundió ampliamente tras el encuentro de investigación de verano celebrado en 1956 en Dartmouth College. Turing planteó, antes incluso de que la disciplina tuviera un nombre, la pregunta con la que esta lidiaría durante mucho tiempo.

13.1. El giro filosófico y el artículo de *Mind*

Un matemático escribe en una revista de filosofía

Hasta entonces, Turing había trabajado principalmente como matemático e ingeniero. En 1936, concibió una máquina imaginaria que imitaba los cálculos de otras máquinas de Turing mediante una cinta de papel y reglas: la máquina universal de Turing. Durante la guerra, diseñó la Bombe en Bletchley Park y desarrolló una técnica estadística llamada *banburismus* para descifrar los códigos militares alemanes. Tras el fin de la guerra, diseñó la computadora ACE en el Laboratorio Nacional de Física (NPL), y a partir de 1948 programó una computadora en funcionamiento real en la Universidad de Mánchester.

Sin embargo, Turing albergaba otra interrogante que había coexistido en paralelo con estos trabajos. Desde que perdió a su amigo Christopher Morcom a los 17 años, reflexionó durante mucho tiempo sobre qué eran la mente y el alma, y en qué parte del cuerpo se originaba el pensamiento. Cuando la computadora pasó de ser una idea en planos a una realidad tangible, esta vieja pregunta regresó con una nueva forma: si el pensamiento humano también se regía en última instancia por ciertas reglas, ¿no podría pensar también una máquina?

Esta pregunta no se limitó al interés exclusivo de Turing. En 1949, llegó a comentarse incluso en los periódicos. En junio de ese año, el profesor Geoffrey Jefferson, neurocirujano, pronunció una conferencia en Londres en la que sostuvo que las máquinas no podían llegar a ser como el cerebro humano. El periódico *The Times* cubrió esta conferencia incluyendo también la historia de la computadora de Mánchester, y un periodista le pidió su opinión a Turing. Turing respondió dando a entender que lo que ocurría en ese momento no era más que un anticipo de lo que estaba por venir.

Turing no dio por concluido este asunto con una breve respuesta en un artículo de prensa. Decidió ordenar sus pensamientos con serenidad y publicarlos en una revista académica leída por filósofos, y el texto resultante fue el artículo de *Mind*. En aquel momento, el editor jefe de esta revista era Gilbert Ryle, filósofo de la Universidad de Oxford. Una persona que había diseñado personalmente una computadora y programado en ella abordaba, en las páginas reservadas a los filósofos, el problema filosófico de la relación entre las máquinas y el pensamiento.

Comenzar por cambiar la pregunta

Al principio del artículo, Turing cuestionó la propia pregunta que había planteado. Sostuvo que la pregunta «¿Pueden pensar las máquinas?» era demasiado imprecisa. Si se intentaba definir primero el significado de las palabras «máquina» y «pensar», se caía en una discusión interminable. Por otra parte, Turing consideraba que si se determinaba la respuesta investigando cómo usa la gente estas palabras habitualmente, sería como resolver un problema científico mediante una encuesta de opinión pública.

Por ello, Turing descartó la pregunta original y propuso una nueva pregunta con un significado claro que pudiera ponerse a prueba en la práctica. Planteó que no se debía indagar si una máquina piensa escudriñando su interior, sino juzgar a partir de su comportamiento externo. El problema, que antes se debatía en torno a la definición de las palabras, se transformó así en una cuestión donde era posible fijar condiciones y verificar los resultados. Fue una transición que trasladó una vieja pregunta de la filosofía al terreno experimental del laboratorio.

El artículo consta de un total de 7 partes. Turing presentó primero la nueva pregunta, el «juego de imitación», y explicó que la máquina que se utilizaría en este juego era una

computadora digital y qué propiedades poseía. A continuación, examinó una por una 9 objeciones contra la inteligencia de las máquinas y, por último, expuso sus ideas sobre cómo se podría construir una máquina capaz de aprender por sí misma.

13.2. El juego de imitación (Imitation Game) y el test de Turing

Un juego de tres personas

Para explicar la nueva pregunta, Turing propuso un juego. En este juego participan tres personas: un hombre A y una mujer B, mientras que el interrogador C se encuentra en una habitación separada de ellos. C no puede ver los rostros de las dos personas ni escuchar sus voces. Las preguntas y respuestas se intercambian únicamente mediante texto mecanografiado o un teletipo, un dispositivo telegráfico con teclado. Tras conversar, C debe averiguar quién es el hombre y quién es la mujer.

Los papeles de las dos personas son diferentes. El hombre A intenta engañar a C para que dé una respuesta incorrecta. Si se le pregunta sobre su peinado, A puede mentir diciendo que es mujer. Por el contrario, la mujer B ayuda a C a dar la respuesta correcta. A B le basta con decir la verdad: «Yo soy la mujer, no le crea a él», pero como A puede decir exactamente lo mismo, a C no le resulta fácil decidir.

Turing introdujo una variante en este juego: ¿qué ocurriría si se colocara una máquina en el lugar del hombre A? La cuestión era si la cantidad de veces que el interrogador C se equivocara al conversar con un ser humano y una máquina llegaría a ser tan alta como cuando conversaba con un hombre y una mujer. Turing sostuvo que esta era la nueva pregunta que sustituía a «¿Pueden pensar las máquinas?». El propio Turing denominó a esta prueba «juego de imitación», y más adelante la posteridad le dio su nombre, llamándola «test de Turing».

Por qué la conversación debía ser solo por escrito

Había una razón clara por la que Turing ocultó los rostros y las voces. Quería separar el cuerpo físico de la máquina de su inteligencia. El hecho de fabricar una piel artificial idéntica a la humana para recubrir una máquina no la vuelve más inteligente. Turing juzgó

que, para evaluar la capacidad de pensar, no debía tenerse en cuenta la apariencia ni la voz, sino únicamente el contenido de las palabras.

Esta condición también guardaba relación con la imparcialidad. Si un ser humano pierde una carrera contra un avión, nadie lo menosprecia por ello. Del mismo modo, no hay motivo para culpar a una máquina si no puede ganar un concurso de belleza. El juego de imitación fue una prueba concebida para que ni el ser humano ni la máquina se vieran perjudicados por su apariencia externa.

Ocultar la apariencia no hacía que la prueba fuera indulgente, pues en una conversación por escrito los temas sobre los que preguntar no tienen fin. Turing ofreció varios ejemplos en su artículo. El interrogador podía pedir que se escribiera un poema sobre el puente de Forth en Escocia, encargarse la suma de dos números de 5 cifras o plantear un problema de ajedrez.

En los ejemplos presentados por Turing, la parte que responde rehúsa componer el poema diciendo que no sabe escribir versos, y ante la suma hace una pausa de unos 30 segundos antes de dar la respuesta. Sin embargo, dicha respuesta es incorrecta. A la orden de sumar 34,957 y 70,764, responde 105,621, cuando la respuesta correcta es 105,721. Algunos especialistas interpretan esto como un ejemplo de fallo deliberado para parecer humano, mientras que otros creen que Turing simplemente se equivocó al anotar las cifras. En cualquier caso, este ejemplo demuestra que una respuesta propiamente humana no siempre coincide con una respuesta exacta.

Una sola computadora imita a todas las máquinas

Lo siguiente que correspondía determinar era qué máquina participaría en este juego. Turing optó por la computadora digital. Una computadora digital consta de una memoria para almacenar información, una unidad de cálculo para realizar operaciones y una unidad de control para procesar las instrucciones secuencialmente. Turing retomó aquí la idea expuesta en su artículo de 1936 sobre la máquina universal: una sola computadora digital suficientemente grande y veloz puede imitar a cualquier otra máquina que funcione paso a paso, siempre que disponga del programa adecuado. Por lo tanto, no hacía falta evaluar por separado cada tipo de máquina susceptible de participar, y la nueva pregunta se convertía

en última instancia en: «¿Puede una computadora dotada del programa adecuado desenvolverse con éxito en el juego de imitación?».

Una predicción con la mirada puesta 50 años hacia adelante

Tras afinar la pregunta de un modo tan concreto, Turing plasmó también una predicción numérica acerca de la respuesta. Señaló que, al cabo de unos 50 años, hacia el año 2000, una computadora con una capacidad de almacenamiento de unos 10^9 (10 elevado a 9) bits jugaría bastante bien al juego de imitación. Esa cifra de 10^9 bits equivale, en unidades actuales, a unos 125 megabytes. Pronosticó que la probabilidad de que un interrogador común distinguiera con acierto a un humano de una máquina tras 5 minutos de conversación no superaría el 70 por ciento. Escribió asimismo que, hacia finales del siglo 20, llegaría un momento en que la gente usaría la expresión «máquinas pensantes» sin que nadie lo rebatiera.

La historia real avanzó con algo más de lentitud que los pronósticos de Turing. Hacia el año 2000, las computadoras superaron con creces las previsiones de Turing en cuanto a capacidad de memoria, pero no consiguieron conversar con naturalidad como los humanos. En el concurso del Premio Loebner, inaugurado en 1991, algunos jueces llegaron a calificar programas informáticos como seres humanos. Con todo, dado que la primera edición restringió los temas de conversación, resultaba difícil considerar ese desenlace como prueba de una capacidad de diálogo general. En 2014, se anunció que un programa llamado «Eugene Goostman» había engañado a cerca de 1/3 de los jueces, pero se le reprochó haber ocultado sus torpes respuestas tras el personaje de un muchacho ucraniano de 13 años.

El panorama cambió radicalmente al adentrarse en la década de 2020. En 2025, Cameron Jones y Benjamin Bergen, de la Universidad de California en San Diego, en Estados Unidos, llevaron a cabo un experimento en el que los participantes conversaban simultáneamente durante 5 minutos con una persona y con una inteligencia artificial, para determinar luego cuál era el ser humano. GPT-4.5, con instrucciones de actuar como un ser humano, fue identificado como tal en el 73 por ciento de los casos, superando el porcentaje obtenido por los propios humanos reales. En ese mismo experimento, ELIZA, un programa de conversación de la década de 1960, apenas alcanzó el 23 por ciento. Esta investigación vio la luz más adelante en la revista científica *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS).

Este resultado ofreció la oportunidad de reexaminar el método de evaluación formulado por Turing. No obstante, al interpretar las cifras conviene distinguir 2 aspectos. En primer lugar, el 70 por ciento de Turing alude al porcentaje con el que el interrogador distingue acertadamente a un humano de una máquina, mientras que el 73 por ciento de este experimento refleja la tasa con la que GPT-4.5 fue seleccionado como humano; por consiguiente, ambas magnitudes miden fenómenos distintos. Por otra parte, numerosos especialistas advierten de que este resultado no equivale a una prueba fehaciente de que las máquinas piensen como seres humanos. El debate en torno a la interrogante de Turing sigue abierto hoy en día.

13.3. Respuestas a las objeciones sobre la inteligencia artificial (IA)

Turing sabía perfectamente que sus planteamientos suscitarían abundantes discrepancias. Por este motivo, en la sexta sección de su artículo seleccionó por iniciativa propia 9 posibles objeciones futuras y les dio respuesta una a una. Identificó los flancos vulnerables y preparó los argumentos antes de que surgieran los ataques. Las 9 objeciones abarcan un amplio registro: desde las motivadas por creencias religiosas y temores infundados hasta las relativas a teoremas matemáticos, la conciencia, las facultades de las máquinas, la arquitectura cerebral y la percepción extrasensorial.

En primer lugar figura la objeción teológica. Afirma que el pensamiento es función exclusiva del alma otorgada por Dios al ser humano, y que al no haber concedido Dios un alma a los animales ni a las máquinas, estas son incapaces de pensar. Turing replicó que tal postura, paradójicamente, empequeñece el poder divino. Si se asume que Dios dota de un alma a los niños engendrados por los humanos, no existe razón alguna que le impida infundir un alma a una máquina construida por el hombre. Turing adujo que en la época de Galileo también se recurrió a argumentos religiosos para impugnar el heliocentrismo —postura que a la postre resultó errónea—, y concluyó que no procede dirimir dilemas científicos sobre semejantes premisas.

En segundo lugar se halla la objeción de «la cabeza escondida en la arena». Se trata de la actitud de confiar y desear que semejante posibilidad no ocurra, bajo el temor de lo espantoso que resultaría que las máquinas pensaran. Su denominación proviene de la creencia popular sobre el avestruz, que entierra la cabeza en la arena ante el peligro. Turing

consideró que esto respondía más a una expresión de deseos que a una objeción genuina, ya que desear que algo acontezca y que algo pueda materializarse en la realidad son dos cuestiones enteramente distintas. Turing despachó el punto con ligereza, sugiriendo que frente a tales alegatos resulta más apropiado el consuelo que la refutación.

En tercer lugar está la objeción matemática. A diferencia de las 2 objeciones previas, esta se fundamenta en teoremas demostrados con todo rigor. En 1931, Kurt Gödel demostró que en cualquier sistema matemático libre de contradicciones que englobe la aritmética elemental de los números naturales y cuyos axiomas puedan enumerarse mediante un procedimiento pautado, existen forzosamente proposiciones indecidibles: enunciados que no pueden ser demostrados ni refutados con las solas reglas de dicho sistema. En su artículo de 1936, el propio Turing demostró asimismo que existen problemas insolubles para cualquier máquina. Quienes impugnaban la inteligencia mecánica se aferraron a estos hallazgos para esgrimir que, al poseer limitaciones infranqueables, las máquinas son ontológicamente inferiores al ser humano.

Turing admitió como un hecho incontestable que cada máquina en particular está sujeta a límites. Ahora bien, para que esta objeción fuera válida, el intelecto humano tendría que hallarse exento de tales restricciones, extremo que nadie ha logrado probar jamás. Los seres humanos también cometen equivocaciones con asiduidad. Además, si bien un individuo puede superar a una máquina determinada, no está facultado para aventajar a todas las máquinas en conjunto. Aunque el teorema demostrado por el propio Turing se utilizó de forma paradójica para socavar sus tesis, él respondió acotando con exactitud el alcance de dicho enunciado formal.

En cuarto lugar se sitúa la objeción basada en la conciencia. Aquí encaja la postura del profesor Jefferson, cuya disertación de 1949 había trasladado la controversia a las páginas de la prensa. Jefferson sostuvo que, mientras una máquina no experimente de verdad pensamientos y emociones y componga versos o cree piezas musicales impulsada por tales vivencias, no cabrá equipararla al cerebro humano. Según su criterio, la máquina debe tener plena conciencia de sus actos y experimentar alegría y dolor.

Turing argumentó que llevar este postulado hasta sus últimas consecuencias desemboca en una paradoja insostenible. La única vía para cerciorarse de que otro ser humano piensa y siente con autenticidad consiste en transformarse en ese mismo individuo. De lo contrario,

uno quedaría abocado a la convicción solipsista de que nadie más que uno mismo posee mente. De ahí que la sociedad funcione sobre una convención civilizada: observar las expresiones y los actos ajenos para asumir que los demás también piensan. Turing defendió que la equidad exige aplicar idéntico rasero a las máquinas. Añadió que si una máquina respondiera con coherencia a preguntas incisivas acerca de un poema de su autoría, ni el profesor Jefferson podría ignorarla a la ligera.

En quinto lugar se encuentra la objeción de las incapacidades diversas. Quienes la defendían elaboraban catálogos de acciones que una máquina jamás podría ejecutar: conducirse con amabilidad, tener sentido del humor, discernir el bien del mal, errar, enamorarse, paladear fresas con nata, aprender de la experiencia o acometer tareas inéditas. Turing advirtió que la inmensa mayoría de estas afirmaciones carecían de base empírica: la gente no hacía más que proyectar la tosquedad de los artilugios conocidos hasta la fecha sobre las máquinas venideras.

Turing escogió varios puntos de esa relación para responder de manera pormenorizada. En lo tocante a los errores, deslindó 2 clases: los fallos derivados de averías en los componentes materiales y los errores de razonamiento en los que se deduce una conclusión equivocada a partir de los datos suministrados. Una máquina es perfectamente capaz de incurrir en esta segunda categoría. Además, si se le incorpora un programa configurado para pifiar cálculos deliberadamente, puede simular yerros humanos en el juego de imitación. Respecto a la degustación de fresas con nata, contestó que tal vez fuera factible diseñar una máquina que apreciara dicho sabor, pero que dilapidar energías en tal empresa resultaría una necesidad.

En sexto lugar figura la objeción de Lady Lovelace. La matemática británica Ada Lovelace publicó en 1843 una memoria sobre la máquina analítica proyectada por Charles Babbage. En ella consignó que dicho ingenio carecía de la facultad de originar algo por cuenta propia y se limitaba a ejecutar aquello que se le prescribía. Quienes impugnaban la inteligencia artificial se valieron de estas palabras para aseverar que una máquina jamás desplegará originalidad ni podrá causar asombro al ser humano.

Turing admitió que era comprensible formular dicho juicio a la luz de los mecanismos existentes en la época de Lovelace; sin embargo, rechazó hacer extensiva esa conclusión a la totalidad de las máquinas. Después de todo, la propia originalidad humana bien podría

nutrirse de lo asimilado mediante el aprendizaje y la experiencia. A continuación, Turing aportó su testimonio personal: afirmó que las máquinas lo sorprendían con frecuencia. Al programar, el ser humano resulta incapaz de anticipar mentalmente el conjunto íntegro de las consecuencias operativas; por ello, los resultados arrojados por una computadora sorprenden a menudo incluso a su propio creador.

En séptimo lugar se ubica la objeción de la continuidad del sistema nervioso. Los circuitos nerviosos del ser humano constituyen un sistema continuo en el que la más mínima fluctuación en una señal eléctrica altera el resultado final. En contraste, las computadoras digitales operan con estados discretos claramente delimitados, como el 0 y el 1. De ahí se derivaba la tesis de que una computadora jamás podría emular el sistema nervioso. Turing concedió la disparidad entre ambos sistemas, pero replicó que dicha discrepancia no aflora en el marco del juego de imitación. Ilustró su argumento aludiendo al analizador diferencial, una calculadora analógica en uso en aquellos años: una computadora digital puede calcar las respuestas de este dispositivo con tal fidelidad que al interrogador le resultaría de todo punto imposible distinguir a uno de otro.

En octavo lugar se presenta la objeción de la informalidad del comportamiento. Es inviable redactar un catálogo exhaustivo de normas que rija la conducta humana en la totalidad de las tesituras posibles. Si el ser humano actuara exclusivamente sometido a reglas fijas no se diferenciaría de una máquina, pero tal no es el caso. Por consiguiente, se deducía que una máquina gobernada por reglas no puede equipararse al hombre. Turing recurrió al ejemplo de un semáforo: aunque rija el precepto de «detenerse ante la luz roja», si se diera la contingencia de que la luz roja y la verde se encendieran al unísono, el individuo resolvería la situación al margen de cualquier regla predeterminada.

Turing diferenció aquí 2 dimensiones: por un lado, las normas de conducta que el individuo asume deliberadamente; por el otro, las leyes naturales que gobiernan el cuerpo y el cerebro humanos. Lo que pone de relieve el ejemplo del semáforo es que las reglas prácticas de convivencia no pueden prever todas las casuísticas imaginables. Ello no autoriza en absoluto a dictaminar la inexistencia de leyes naturales que regulen la mecánica cerebral; sencillamente ocurre que la ciencia no las ha descifrado en su totalidad todavía.

En noveno lugar se sitúa la objeción de la percepción extrasensorial. Sostiene que si los humanos poseyeran dotes como la telepatía o la clarividencia, el interrogador podría leer la

mente y discriminar con facilidad a la persona de la máquina. Turing no desechó esta objeción de plano. A la vista de los ensayos llevados a cabo en Estados Unidos por Joseph Rhine y otros investigadores en aquellos años, llegó a consignar que existían indicios estadísticos sólidos en favor de la telepatía. Por ello propuso como arbitrio habilitar una sala aislada de influjos telepáticos para el desarrollo del juego. Hoy la comunidad científica descarta la existencia de pruebas acreditadas sobre fenómenos extrasensoriales; este pasaje atestigua que ni siquiera una mente como la de Turing permaneció al margen del clima científico de su época.

Dar réplica a las 9 objeciones sirvió únicamente para desbaratar la premisa de que las máquinas no pueden pensar. Cómo construir en la práctica una máquina pensante constituía un reto independiente, y Turing dio un paso adelante hacia este desafío en la sección de cierre de su artículo. Programar desde sus cimientos el cerebro maduro de un adulto reviste una dificultad colosal. En su lugar, sugirió construir previamente una «máquina infantil» que, pese a poseer escasos conocimientos iniciales, pudiera desarrollar sus facultades mediante la instrucción pedagógica, educándola mediante un sistema de premios y castigos. La intuición radicaba en que, del mismo modo que un niño madura interactuando con su maestro, una máquina también puede adquirir inteligencia al recibir adiestramiento. Hoy la inteligencia artificial progresa mediante el aprendizaje autónomo nutrido por volúmenes masivos de datos. La concepción turingiana de la máquina infantil entrañaba la idea directriz de diseñar un proceso de aprendizaje en lugar de programar un corpus cerrado de conocimientos acabados. Aunque los métodos formativos difieren de los de la inteligencia artificial contemporánea, la aspiración de perfeccionar las facultades de las máquinas por la vía del aprendizaje preserva intacta su vigencia.

Turing concluyó su artículo con una sentencia en este sentido: solo alcanzamos a divisar una corta distancia por delante; no obstante, dentro de ese breve trayecto distinguimos con claridad cuánto resta por hacer.

Capítulo 14. Morfogénesis: descifrar los patrones de la vida mediante las matemáticas (1951–1952)



Figura 14. Representación de las investigaciones dirigidas a hallar reglas matemáticas en las formas de los seres vivos.

En el otoño de 1950, Alan Turing publicó en la revista de filosofía *Mind* un artículo titulado «Maquinaria computacional e inteligencia». A raíz de este artículo, la pregunta «¿pueden pensar las máquinas?» se dio a conocer ampliamente en el mundo. En aquel momento, Turing tenía treinta y ocho años. Durante la guerra había descifrado los códigos del ejército alemán; tras finalizar la guerra, diseñó computadoras y escribió programas, y ahora acababa de presentar un nuevo tema de investigación: la inteligencia de las máquinas.

Sin embargo, por aquella época, el interés de Turing se dirigía hacia un objeto completamente distinto: las manchas en la piel del leopardo, las rayas de la cebra y las espirales que forman las semillas de girasol. Los seres vivos generan estos patrones y formas sin recibir instrucciones de nadie. Turing quería comprender cómo era posible semejante proceso y decidió resolver este problema mediante las matemáticas y las computadoras. Un matemático que había trabajado con criptografía y computadoras comenzaba a investigar cuestiones en un campo tan ajeno como la biología.

14.1. Elección a la Royal Society

El mismo año en que comenzó sus investigaciones biológicas, Turing fue elegido miembro de la Royal Society británica. La Royal Society es una sociedad científica fundada en Londres en 1660. Es una de las organizaciones científicas más antiguas del mundo, e Isaac Newton también llegó a ser su presidente. Para ser elegido miembro, se requiere la nominación de los miembros existentes, y la sociedad elige a los miembros tras examinar minuciosamente las investigaciones del candidato. Las personas elegidas añaden las letras FRS tras su nombre. Es el distintivo que indica la condición de miembro de la Royal Society (Fellow of the Royal Society) y constituye un gran honor para los científicos británicos.

El día en que Turing fue elegido miembro fue el 15 de marzo de 1951, y en aquel momento tenía treinta y ocho años. La razón principal indicada en la propuesta de elección fue su artículo publicado en 1936, «Sobre números computables, con una aplicación al problema de la decisión». En este artículo, Turing concibió una máquina calculadora imaginaria, es decir, la máquina de Turing. Asimismo, demostró mediante las matemáticas qué se puede computar y qué no se puede computar. Esta investigación sentó las bases de la lógica matemática y de las ciencias de la computación actuales.

También hubo logros que no pudieron incluirse en la propuesta de elección. Se trataba de su labor en Bletchley Park durante la Segunda Guerra Mundial, descifrando el código Enigma. Puesto que este trabajo estaba sujeto a la Ley de Secretos Oficiales, nadie podía mencionarlo públicamente. La mayor contribución que Turing realizó para su país durante la guerra permaneció así oculta. Aun así, el hecho de ser nombrado miembro de la Royal Society significaba que Turing era reconocido como uno de los académicos representativos de la comunidad científica británica. Desde esta posición, Turing inició una nueva investigación.

La forma de los seres vivos, objeto de aquella investigación, no era un tema por el que Turing hubiera mostrado interés de manera repentina. Hacia los diez años, Turing recibió como regalo el libro «Maravillas de la naturaleza que todo niño debería conocer». Esta obra no explicaba el cuerpo de los seres vivos mediante fuerzas misteriosas, sino como una máquina. El joven Turing atesoraba este libro y lo leyó repetidas veces. Entre los dibujos que dejó su madre, Sara Turing, hay uno que muestra a su hijo contemplando a solas una margarita que brotaba en el suelo mientras sus compañeros jugaban un partido de hockey. Incluso durante su estancia en la escuela de Sherborne, Turing disfrutaba de los experimentos de química y observaba con detenimiento la disposición de los pétalos y las hojas.

Tras alcanzar la edad adulta, leyó «Sobre el crecimiento y la forma», escrito en 1917 por el biólogo escocés D'Arcy Thompson. Thompson fue un erudito que intentó explicar la forma biológica mediante las matemáticas y la física. Turing deseaba dar un paso más allá del intento de Thompson.

El problema que Turing intentaba resolver partía del embrión. El embrión es la fase sumamente temprana en la que una masa de células que se convertirá en el cuerpo del animal comienza a desarrollarse. Esta masa es prácticamente redonda, y las células en su interior son casi idénticas entre sí. Sin embargo, con el paso del tiempo, un extremo se convierte en la cabeza y el otro en la cola. Se forman los ojos y crecen las extremidades. La pregunta de Turing era cómo surgían partes diferentes a partir de un cuerpo que al principio era idéntico en todas sus partes, y cómo una masa semejante a una bola redonda se desarrollaba hasta convertirse en un cuerpo con parte delantera y trasera, superior e inferior bien diferenciadas, como un caballo o un ser humano.

Había muchos enigmas aún sin resolver en el proceso de formación de la morfología de los seres vivos. Turing intentó explicar algunos de ellos mediante las matemáticas. Consideró que las leyes por las cuales las sustancias químicas reaccionan entre sí y se dispersan bastaban para explicar la forma de los seres vivos. Turing se propuso demostrar matemáticamente que esta idea era válida.

14.2. El descubrimiento de las ecuaciones de reacción-difusión

En noviembre de 1951, Turing presentó un artículo a la Royal Society. Su título era «La base química de la morfogénesis». La morfogénesis se refiere al proceso mediante el cual un ser vivo adquiere la forma de su cuerpo a medida que crece. Este artículo se publicó el 14 de agosto de 1952 en la revista biológica de la Royal Society, *Philosophical Transactions B*, volumen 237, páginas 37 a 72. Tenía una extensión total de 36 páginas.

En este artículo, Turing utilizó por primera vez el término «morfógeno». En griego significa «generador de forma». Turing pensaba que ciertas sustancias químicas que se difunden entre las células y los tejidos del cuerpo indican a las células en qué deben convertirse. Las células de las zonas donde abunda esa sustancia y las de las zonas donde escasea siguen caminos diferentes. No obstante, dado que en aquella época no se había encontrado realmente ninguna sustancia semejante, el morfógeno era una sustancia hipotética postulada por Turing.

Para explicar cómo los morfógenos generan patrones, Turing se centró en dos procesos. Uno es la «reacción» y el otro es la «difusión». La reacción es el proceso por el cual las sustancias químicas interactúan para generar nuevas sustancias o eliminarse entre sí. La difusión es el proceso por el cual una sustancia se propaga desde las zonas de mayor concentración hacia las de menor concentración. Si se deja caer una gota de tinta en un vaso con agua, la tinta se difunde lentamente y tiñe todo el vaso de manera uniforme. Esto es la difusión.

Como se aprecia en el ejemplo de la tinta, la gente solía pensar que la difusión lo mezcla todo de manera uniforme. Esto se debe a que, cuando la tinta se dispersa, cualquier patrón desaparece y solo queda un único color. Sin embargo, Turing demostró matemáticamente que podía producirse exactamente el resultado opuesto. Si dos sustancias químicas

reaccionan entre sí al tiempo que se difunden a velocidades distintas, el estado inicialmente homogéneo se rompe y se generan patrones.

En el modelo de dos sustancias que se utiliza con frecuencia hoy en día para explicar esta idea, las funciones de las sustancias se dividen de la siguiente manera: una es el activador y la otra es el inhibidor. El activador produce más de sí mismo y, al mismo tiempo, genera el inhibidor. El inhibidor reprime al activador para impedir que aumente. A esto se añade una condición fundamental: el inhibidor debe difundirse con mucha mayor rapidez que el activador.

Resulta fácil entender por qué esta condición genera patrones comparándola con un incendio forestal. Supongamos que surgen pequeñas brasas en diversos puntos de un bosque seco. Las brasas se propagan a los árboles cercanos y crecen. Esto corresponde al activador. Cuando se declara el fuego, intervienen los bomberos. Los bomberos se desplazan con mucha mayor rapidez que el fuego y rocían agua de antemano sobre los árboles situados alrededor del foco del incendio. Esto corresponde al inhibidor. En consecuencia, el fuego solo arde en el lugar donde se originó, mientras que los alrededores permanecen húmedos. Si se observa el bosque desde el cielo, se aprecia un patrón en el que las zonas quemadas y las intactas quedan dispersas como manchas punteadas. En el modelo matemático real, surgen diferentes formas, como motas o rayas, según las condiciones de reacción y difusión de las sustancias.

Turing explicó asimismo dónde se inicia este proceso. Al principio, las dos sustancias están mezcladas de manera uniforme por todas partes. Sin embargo, en la realidad no existe un estado de perfecta homogeneidad. Se producen diferencias diminutas en lugares infinitesimales. Normalmente, tales diferencias desaparecen con rapidez. Pero, bajo las condiciones descubiertas por Turing, estas pequeñas diferencias aumentan progresivamente. Los lugares donde había un poco más de activador acumulan aún más, mientras que sus alrededores contienen menos debido al inhibidor. A esta ruptura del estado uniforme inicial, los científicos la denominan «ruptura de simetría». A este fenómeno en el que se quiebra el equilibrio inicial se le da hoy en día el nombre de «inestabilidad de Turing».

Al resolver complejas ecuaciones, Turing demostró que este proceso produce patrones tales como motas, rayas y ondas. A estos patrones se les llama hoy «patrones de Turing». El

núcleo de la teoría de Turing es que, aun sin que nadie los dibuje desde el exterior, los patrones surgen de forma espontánea mientras las sustancias reaccionan y se difunden entre sí.

Esta teoría también contenía una perspectiva sobre la función de los genes. Este punto resulta aún más evidente si se observa la época en que se publicó el artículo. Fue en 1953 cuando James Watson y Francis Crick descubrieron la estructura de doble hélice del ADN. Cuando Turing redactó su artículo, nadie sabía qué aspecto tenían los genes. A pesar de ello, Turing vislumbró la función de los genes: no los consideraba planos detallados que dibujaran minuciosamente cada forma del cuerpo. Los genes solo determinan condiciones tales como la rapidez con la que reaccionan y se difunden las sustancias químicas. La idea de Turing era que las formas reales surgen espontáneamente bajo esas condiciones de acuerdo con las leyes de la reacción y la difusión.

Turing también señaló en el artículo las limitaciones de esta teoría. Al principio del texto, escribió que su modelo constituía una simplificación e idealización de los seres vivos reales y que, por tanto, podían existir discrepancias con la realidad. Aun al presentar una teoría novedosa, no pretendió afirmar que lo explicara todo.

14.3. Pionero de la biología computacional

Las ecuaciones de Turing eran difíciles de resolver a mano. Aunque algunos casos sencillos podían resolverse con papel y lápiz, se requerían cuantiosos cálculos para observar cómo se formaban realmente los patrones. Turing disponía de una máquina a la que confiar tales cálculos: la Ferranti Mark 1 de la Universidad de Mánchester.

La Ferranti Mark 1 fue instalada en la Universidad de Mánchester en febrero de 1951. Fue la primera computadora electrónica de propósito general (utilizable para diversos tipos de cálculo) fabricada y comercializada por una empresa en el mundo. Turing redactó personalmente el manual de programación de esta computadora. Como conocía esta máquina mejor que nadie, escribió programas para resolver sus ecuaciones y los utilizó en sus investigaciones sobre morfogénesis.

Sin embargo, la ilustración del patrón moteado incluida en el artículo de 1952 se obtuvo mediante cálculos manuales y no por computadora. Turing señaló en el artículo que había

obtenido esta figura tras varias horas de cálculos a mano. En aquella época, las computadoras no disponían de pantallas que mostraran imágenes como hoy en día, y los resultados de los cálculos aparecían únicamente como números. Turing anticipó que las computadoras digitales podrían utilizarse al abordar el proceso de transformación de formas más complejas.

Abordar los fenómenos biológicos mediante computadoras constituyó un hecho sin precedentes en la historia de la ciencia. Hasta entonces, las computadoras se empleaban primordialmente para manejar números, como en trayectorias balísticas de artillería o criptografía. Turing intentó simular por computadora el proceso mediante el cual los seres vivos generan patrones. En lugar de criar animales en un laboratorio, siguió el proceso de reacción y difusión dentro de la computadora. En la actualidad, este tipo de investigación se denomina biología computacional, y Turing es considerado uno de los fundadores de este campo.

Tras publicar el artículo de 1952, Turing amplió su objeto de estudio a las plantas. El problema al que se consagró en esta ocasión fue la «filotaxis». La filotaxis se refiere al orden y disposición con que las hojas se insertan en el tallo. Si se observa el centro de una flor de girasol, las semillas se hallan densamente dispuestas trazando espirales. Se observan conjuntamente espirales orientadas en el sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario. Al contar el número de estas espirales, se forman pares regulares como 34 y 55, o 55 y 89. En las piñas de pino suelen aparecer con frecuencia pares como 8 y 13.

Todos estos números forman parte de la sucesión de Fibonacci. La sucesión de Fibonacci es aquella en la que, como en 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, cada número se obtiene sumando los dos anteriores. Las nuevas hojas o semillas se forman a menudo en una posición rotada aproximadamente 137.5 grados respecto a la anterior. Este ángulo se conoce como ángulo áureo. Con esta disposición, las hojas y las semillas se acomodan sin superponerse ni dejar espacios vacíos. Desde hacía mucho tiempo se conocía esta regla, pero no se había podido explicar por qué las plantas la obedecían.

Turing investigó este problema en colaboración con Claude Wardlaw, botánico de la Universidad de Mánchester. Turing pensaba que la reacción y difusión de morfógenos también tenían lugar en los puntos donde brotan nuevas hojas en el extremo del tallo vegetal. Cuando surge una hoja en un sitio, resulta difícil que se forme otra hoja en su

proximidad inmediata, de modo que la siguiente hoja aparece a cierta distancia. Turing intentó rastrear matemáticamente el proceso por el cual la acumulación de este fenómeno da lugar a las espirales de números de Fibonacci.

Jóvenes investigadores también participaron en este estudio. El estudiante de posgrado Bernard Richards aplicó las ecuaciones de Turing a una superficie esférica. Richards comparó los resultados de sus cálculos con la forma de la concha esférica de unos diminutos organismos marinos llamados radiolarios. Turing estaba organizando estas investigaciones en un manuscrito en tres partes titulado «Teoría morfogénica de la filotaxis». Sin embargo, con el repentino fallecimiento de Turing en junio de 1954, el manuscrito quedó inconcluso. Estos manuscritos permanecieron olvidados durante mucho tiempo hasta que en 1992 se publicaron en el volumen de morfogénesis de las obras completas de Turing compiladas por Peter Saunders.

El problema de la filotaxis que Turing no pudo concluir fue retomado años después en Mánchester. En 2012, con motivo del centenario del nacimiento de Turing, se celebró un evento de ciencia ciudadana titulado «Los girasoles de Turing». La ciencia ciudadana se refiere a investigaciones en las que ciudadanos comunes, no científicos profesionales, participan directamente en la recopilación de datos. En este evento se reunieron datos de 657 girasoles cultivados por ciudadanos. Aunque en muchos casos el número de espirales correspondía a números de Fibonacci, también se identificaron disposiciones que no seguían dicha regla. Fue un encuentro en el que multitud de personas comprobaron juntas las preguntas que Turing no había llegado a responder.

La teoría de 1952 sobre los patrones tampoco recibió gran atención en vida de Turing. Tras desvelarse la estructura del ADN en 1953, el interés de los biólogos se volcó hacia el estudio de los genes y las moléculas. La teoría de Turing, que pretendía explicar los patrones de la vida mediante ecuaciones, fue considerada una idea matemáticamente verosímil pero no comprobada en organismos reales.

La situación cambió varias décadas después. En 1990, el equipo de investigación de De Kepper en Francia logró generar en el laboratorio, dentro de una disolución química, los patrones de motas predichos por Turing. En 1995, los biólogos japoneses Shigeru Kondo y Rihito Asai publicaron en la revista *Nature* un estudio sobre el pez ángel rayado. A medida que este pez crece, sus rayas se dividen y se forman otras nuevas, y esas modificaciones

coincidían exactamente con los resultados calculados mediante las ecuaciones de Turing. En 2014, se dio a conocer una investigación que demostraba que el principio postulado por Turing opera asimismo en el proceso por el cual los dedos de las patas del ratón se dividen en cinco.

Incluso en tiempos recientes, continúan las investigaciones para verificar y complementar la teoría de Turing. En marzo de 2023, el equipo de investigación del profesor Flavio Fenton en el Instituto de Tecnología de Georgia (Estados Unidos) presentó los resultados de experimentos con semillas de chía en la conferencia de la Sociedad Estadounidense de Física. El equipo esparció semillas de chía de manera uniforme sobre bandejas y las cultivó variando la cantidad de agua y los tipos de suelo. Al hacerlo, los brotes crecieron agrupándose en patrones moteados o en forma de laberinto. Estos patrones se asemejaban a los resultados computacionales generados a partir de las ecuaciones de reacción-difusión. El equipo declaró que era la primera vez que se confirmaba directamente un modelo de este tipo con plantas vivas.

En noviembre del mismo año, el equipo de investigación del profesor Ankur Gupta en la Universidad de Colorado en Boulder (Estados Unidos) publicó en la revista *Science Advances* un estudio sobre los patrones del pez cofre. Resultaba difícil explicar en su totalidad el nítido patrón hexagonal de la piel del pez cofre empleando únicamente las ecuaciones de Turing. El equipo incorporó al cálculo el fenómeno por el cual las células que producen el color también son arrastradas cuando las sustancias químicas se difunden. De este modo, obtuvieron un patrón nítido muy semejante al del pez real. Esta investigación se basó en la teoría de Turing y aportó una nueva explicación sobre ella.

Hoy en día, el artículo de Turing de 1952 se considera el punto de partida de la biología matemática (la disciplina que explica los fenómenos biológicos mediante las matemáticas) y de la biología computacional. Desde las motas del leopardo y las rayas de los peces hasta el proceso de formación de los dedos y la disposición en que las plantas desérticas crecen en cúmulos, los científicos estudian los patrones de la vida basándose en las ideas de Turing. Las investigaciones que simulan fenómenos biológicos por computadora continúan también el camino que Turing inició.

Turing no dejó el misterio de la vida como simple magia. Creía que los hermosos patrones de los seres vivos también obedecían a leyes de la naturaleza, y que tales leyes podían

formularse mediante las matemáticas. Y puso a prueba directamente esa convicción a través de las matemáticas y las computadoras. Tras la criptografía, las computadoras y la inteligencia de las máquinas, hasta llegar a la forma de la vida, Turing abordó con el mismo método problemas de campos que parecían distantes entre sí.

Capítulo 15. El juicio y la discriminación del Estado (1952-1954)



Figura 15. Representación de la difícil situación de Turing al tener que comparecer ante el tribunal.

Introducción

A principios de 1952, Alan Turing tenía 39 años. Era subdirector del Laboratorio de Computación de la Universidad de Mánchester y, 1 año antes, en 1951, había sido elegido miembro de la Royal Society (FRS), una gran distinción para un científico británico. Por aquel entonces, la investigación a la que Turing se dedicaba consistía en descifrar mediante las matemáticas los patrones de la vida, tales como las rayas de las cebras o el orden en que brotan las hojas de las plantas. Por las noches, se sentaba frente a la computadora Ferranti Mark 1 de la universidad para realizar largos cálculos.

Por otro lado, casi nadie sabía lo que había hecho durante la guerra. Turing había liderado el descifrado del código Enigma del ejército alemán en Bletchley Park. La máquina de descifrado Bombe que diseñó y el método estadístico llamado Banburismus fueron de gran ayuda para proteger de los submarinos alemanes a los barcos aliados que cruzaban el Atlántico. Los historiadores consideran que gracias a este descifrado la guerra se acortó y se salvaron muchas vidas. No obstante, esto es una estimación. Incluso la cifra de 14 millones de personas propuesta por Jack Copeland es un cálculo que parte del supuesto de que la guerra se hubiera prolongado más tiempo.

Todo esto era secreto de Estado. En junio de 1946, la gaceta oficial del gobierno británico publicó la concesión a Turing de la Orden del Imperio Británico (OBE). Sin embargo, Turing no pudo contarle ni a su propia familia por qué había recibido la condecoración. La Ley de Secretos Oficiales le impedía hablar. Por ello, a ojos del mundo, no era más que un matemático universitario un tanto excéntrico.

En 1952, un pequeño robo cambió por completo la vida de Turing. Este capítulo sigue el juicio y el castigo que sufrió Turing desde 1952 hasta principios del verano de 1954, así como el proceso por el cual el país al que había protegido terminó dándole la espalda.

15.1. El robo y la acusación por 'indecencia grave'

En 1950, Turing compró una casa en Wilmslow, una pequeña ciudad al sur de Mánchester, y vivió allí solo. Se desplazaba hasta la universidad en tren o en bicicleta y, cuando tenía tiempo libre, corría por caminos rurales. Desde su juventud había disfrutado de las carreras de larga distancia y en ocasiones llegó a registrar marcas comparables a las de un maratonista.

En diciembre de 1951, Turing conoció a Arnold Murray, un joven de 19 años, cerca de un cine en Oxford Road, en el centro de Mánchester. Murray era un joven sin empleo y de escasos recursos. Turing lo invitó a almorzar y, tras verse varias veces a partir de entonces, se convirtieron en amantes. Al hecho de que un hombre ame a un hombre o una mujer ame a una mujer se le llama homosexualidad. Turing sabía desde su época de estudiante que se sentía atraído por los hombres y no lo ocultaba ante sus amigos cercanos.

El 23 de enero de 1952, al regresar a casa, Turing descubrió que un ladrón había entrado y se había llevado prendas de vestir y algunos artículos de uso diario. Turing presentó una denuncia ante la policía. Unos días después, Murray le confesó que creía saber quién era el ladrón: un joven llamado Harry. La policía examinó las huellas dactilares halladas en la casa e identificó al culpable.

Sin embargo, durante el proceso para dar con el culpable, la policía también descubrió qué relación existía entre Turing y Murray. En febrero de 1952, unos agentes de policía acudieron a la casa de Turing para interrogarlo al respecto. Turing no lo ocultó. Declaró con franqueza su relación con Murray y presentó una declaración escrita de su puño y letra. Turing no consideraba que una relación consensuada entre 2 adultos fuera algo malo.

La ley británica de la época no lo veía de esa manera. El Artículo 11 de la Ley de Enmienda del Derecho Penal de 1885 tipificaba los actos homosexuales entre hombres como un delito de 'indecencia grave' (gross indecency). No se tenía en cuenta si ambas partes lo consentían. Quien fuera declarado culpable de este delito podía ser condenado a un máximo de 2 años de prisión. Esta fue precisamente la disposición legal que envió a la cárcel al célebre escritor irlandés Oscar Wilde en 1895, y en la Gran Bretaña de la década de 1950 muchos hombres seguían siendo castigados bajo esta ley cada año. La declaración

sincera que Turing escribió para la policía constituía, bajo esta ley, una prueba directa del delito.

La policía arrestó a Turing y a Murray y los llevó a juicio. El 27 de febrero de 1952 se celebró la primera audiencia en el Tribunal de Magistrados de Wilmslow. El juicio formal tuvo lugar el 31 de marzo de 1952 en el Tribunal de Sesiones Trimestrales (Quarter Sessions) de Knutsford. El tribunal de Quarter Sessions era un tribunal penal local británico que se reunía 4 veces al año, una en cada estación. El nombre oficial del proceso fue 'La Reina contra Turing y Murray (Regina v. Turing and Murray)'.

De cara al juicio, Turing tuvo que decidir cómo responder. Creía que la ley estaba equivocada y, al principio, pensó en defenderse en el tribunal afirmando que no había hecho nada reprochable. Sin embargo, su hermano mayor John Turing y su abogado estaban profundamente preocupados. Si litigaba hasta el final y perdía, podía ir a la cárcel, lo que detendría por completo tanto sus investigaciones como su trabajo informático. Ambos intentaron persuadir a Turing durante largo tiempo. Al final, Turing optó por declararse culpable. Esto no significaba que hubiera cambiado de opinión; simplemente se plegó ante la ley para poder continuar con sus investigaciones.

En el tribunal comparecieron su colega matemático Max Newman y Hugh Alexander, compañero de su época en Bletchley Park, para testificar sobre la calidad moral de Turing. Hugh Alexander declaró que Turing era un talento insustituible e imprescindible para el país. Sin embargo, no pudo explicar los motivos, ya que lo que Turing había hecho durante la guerra seguía siendo secreto militar. El mismo secreto que le había impedido contar a su familia por qué había recibido la condecoración le impedía ahora pronunciar una sola palabra en el tribunal sobre sus méritos.

El juez declaró culpable a Turing. A Murray le impuso una sentencia de libertad condicional sin pena inmediata. Esto significaba que no recibiría castigo alguno siempre que no volviera a delinquir durante un período determinado. La noticia del juicio se publicó en la prensa local. Los vecinos, los miembros de la universidad y su madre, Sara Turing, también se enteraron de lo ocurrido.

15.2. Una elección cruel: administración química forzada

Junto con la condena, el juez le dio a Turing a elegir entre 2 caminos: ir a prisión o someterse a un tratamiento hormonal bajo régimen de libertad vigilada. La libertad vigilada era un sistema que, en lugar de encarcelar al individuo, le permitía permanecer en sociedad mientras se supervisaba el cumplimiento de ciertas condiciones estipuladas. Según el indulto concedido años más tarde, Turing debía permanecer en libertad vigilada durante 12 meses y recibir tratamiento médico a cargo de un facultativo cualificado en la Manchester Royal Infirmary.

El hecho de que el tribunal pudiera plantear un 'tratamiento' en lugar de un castigo penal se debía a los erróneos conocimientos médicos de la época. Muchos médicos y jueces británicos consideraban que la homosexualidad era una enfermedad que debía corregirse. Creían que se debía a un desequilibrio hormonal en el cuerpo y que podía curarse administrando hormonas femeninas para inhibir el deseo sexual. Era una creencia carente de fundamento. La medicina actual no considera la homosexualidad como una patología, y la Organización Mundial de la Salud (OMS) la eliminó de su lista de enfermedades en 1990. En aquel tiempo, este procedimiento se denominaba 'organoterapia' (organotherapy). Hoy en día se lo conoce como 'castración química', lo que significa inhibir la función sexual masculina mediante fármacos.

Turing aceptó el tratamiento hormonal. Si iba a la cárcel, no podría acudir al laboratorio. Las fórmulas matemáticas que estaba calculando y los programas que ejecutaba en la computadora se habrían detenido de golpe. Al igual que al declararse culpable, el criterio para tomar la decisión fue si podría seguir adelante con sus investigaciones. Aunque en apariencia fue un camino elegido por él mismo, ante la amenaza de la prisión no existía otra opción.

A partir de abril de 1952, Turing comenzó a recibir un fármaco llamado estilbestrol (stilboestrol). Su nombre químico es dietilestilbestrol (diethylstilbestrol), una hormona femenina sintética producida artificialmente. Al principio lo tomó en comprimidos y, más adelante, se le implantó el fármaco bajo la piel del muslo para que se liberara gradualmente en el organismo. Este tratamiento se prolongó durante aproximadamente 1 año.

El medicamento transformó el cuerpo de Turing. Perdió su función sexual masculina, aumentó de peso y su figura se alteró. También desarrolló ginecomastia (gynaecomastia), por la cual sus pechos aumentaron de tamaño como los de una mujer. Para alguien acostumbrado a correr decenas de kilómetros por el campo, sentir que su propio cuerpo se volvía tan ajeno como el de un extraño supuso un sufrimiento desgarrador. Las transformaciones corporales dejaron además una profunda cicatriz en su mente.

Los sentimientos de Turing en aquel período quedaron reflejados en las cartas que envió a sus amigos. En una carta dirigida antes del juicio a Norman Routledge, su discípulo y amigo, escribió que al salir de todo aquello sería una persona distinta, aunque todavía no sabía exactamente quién sería. En otra carta enviada al matemático y amigo Philip Hall tras el inicio del tratamiento, comentó que el fármaco reducía el impulso sexual, pero que se decía que todo volvía a su estado original al concluir el tratamiento, por lo que esperaba que así fuera.

Turing hizo todo lo posible por no derrumbarse. Con sus amigos más íntimos llegaba a bromear diciendo que le estaban creciendo los pechos debido a la medicación. Era su manera particular de afrontar el sufrimiento mediante la risa. Aunque las películas y las novelas suelen retratar a un Turing cuyo espíritu se desmoronó de inmediato tras el tratamiento hormonal, los testimonios históricos reales muestran un panorama diferente.

Lo que demuestran los registros es una labor investigadora que no se detuvo ni siquiera en este período. En 1952 se publicó en la revista de la Royal Society su artículo 'La base química de la morfogénesis', en el que explicaba matemáticamente los patrones de la vida. Turing también continuó calculando noche tras noche la disposición de las hojas de las plantas utilizando la computadora Ferranti Mark 1. En 1953, la Universidad de Mánchester creó expresamente para él la plaza de 'profesor agregado de Teoría de la Computación (Reader in the Theory of Computing)'. En 1954 escribió para el público general el artículo 'Problemas solubles e insolubles', publicado en una revista científica.

El tratamiento hormonal finalizó en la primavera de 1953. Sin embargo, el estigma de 'criminal' no desapareció. Las secuelas que quedaron en su cuerpo y las miradas de los demás permanecieron durante mucho tiempo en el corazón de Turing.

15.3. Revocación de la habilitación de seguridad y aislamiento

Lo que la condena le arrebató a Turing no fue únicamente su salud física. También perdió el derecho a manejar los secretos de su país. Esta acreditación se conoce como 'nivel de seguridad' o 'habilitación de seguridad'. El gobierno solo permite acceder a los secretos de Estado a quienes cuentan con dicha autorización.

Tras la conclusión de la guerra, el organismo de descifrado de Bletchley Park se transformó en 1946 en el Cuartel General de Comunicaciones del Gobierno (GCHQ). Aunque trabajaba en la Universidad de Mánchester, Turing seguía prestando servicios como asesor criptográfico del GCHQ, ya que los conocimientos y la experiencia adquiridos durante la guerra aún eran imprescindibles. No obstante, al revocársele la habilitación de seguridad tras su condena, se vio impedido de continuar con esta labor de asesoramiento que mantenía desde la posguerra. Su nombre fue borrado del mundo de la investigación criptográfica que él mismo había inaugurado.

Había un trasfondo de época que explicaba este proceder del gobierno. Tras el final de la guerra, el mundo se dividió entre el bloque liderado por Estados Unidos y Gran Bretaña y el bloque soviético, recelando el uno del otro. A este período de gélido antagonismo sin enfrentamientos armados directos se le conoce como la Guerra Fría. Ambos bandos enviaban espías para desentrañar los secretos del contrario.

En Gran Bretaña, un suceso concreto vinculó esta zozobra con la desconfianza hacia los homosexuales. En mayo de 1951, Guy Burgess y Donald Maclean, diplomáticos del Ministerio de Asuntos Exteriores británico, huyeron repentinamente a la Unión Soviética. Ambos eran espías que durante años habían facilitado información confidencial a los soviéticos, y se sabía que Burgess era homosexual. A raíz de este acontecimiento, dentro del gobierno británico se extendió la idea de que confiar secretos a personas homosexuales implicaba un grave peligro. El Ministerio de Asuntos Exteriores llegó incluso a investigar en secreto los riesgos de seguridad derivados de emplear a homosexuales.

La lógica del gobierno era la siguiente: en una sociedad donde la homosexualidad era un delito, los homosexuales se exponían a ser castigados si eran descubiertos, de modo que si un país enemigo los chantajeaba aprovechando esa debilidad, podrían revelar secretos de

Estado. Sin embargo, la causa de esa vulnerabilidad era la propia ley que criminalizaba la homosexualidad. A pesar de ello, el gobierno, en lugar de corregir la ley, prefirió sospechar de las personas.

En Estados Unidos la situación era semejante. El gobierno estadounidense expulsó a los homosexuales de los cargos públicos y, en 1952, cerró el paso a los homosexuales extranjeros mediante una nueva ley de inmigración. Turing, que durante la guerra había compartido tecnología criptográfica y colaborado activamente con la Marina de los Estados Unidos, vio rechazada su entrada a dicho país tras la condena.

Tras la pérdida de su habilitación vino también la vigilancia. Cuando una persona que guardaba en su memoria secretos criptográficos vitales para la nación pasó a ser considerada una 'criminal', los organismos de inteligencia lo catalogaron como un sujeto de riesgo. La policía y los servicios de seguridad vigilaban con quién se encontraba Turing y adónde se dirigía.

Turing vivió esta vigilancia de cerca durante 2 viajes. En 1952 viajó a Noruega, ya que los países nórdicos solían ser más tolerantes hacia la homosexualidad que Gran Bretaña. Allí conoció a un joven llamado Kjell Carlson. En marzo de 1953, cuando Carlson se disponía a viajar a Gran Bretaña para reunirse con Turing, la policía intervino con antelación. Carlson fue devuelto a Noruega sin haber podido ver a Turing. Este confesó a sus amigos que lo ocurrido representaba una crisis tan grave como el propio juicio. Comprobó en carne propia que el Estado controlaba incluso con quién se relacionaba.

En 1953 pasó sus vacaciones en la isla griega de Corfú. Corfú es una isla situada frente al estado comunista de Albania, separada apenas por una estrecha franja de mar. Los biógrafos relatan que los servicios de seguridad siguieron con gran recelo el hecho de que Turing, conocedor de secretos de Estado, viajara tan cerca de las fronteras del bloque comunista.

Turing conservó su plaza de investigador en la universidad y pudo proseguir con sus estudios. Sin embargo, el mundo al que pertenecía se fue reduciendo progresivamente. En el King's College de Cambridge y en Bletchley Park había contado con compañeros que aceptaban su peculiar forma de ser y de pensar. Ahora se había convertido en una persona

en la que su país ya no confiaba. No podía hablar sobre labores confidenciales ni con sus antiguos colegas, y la actitud de sus vecinos tampoco volvió a ser la misma.

Con todo, Turing no se limitó a resistir en soledad. Acudió a la consulta del doctor Franz Greenbaum, un psicoanalista de Mánchester. Por sugerencia del doctor Greenbaum, anotaba cada mañana en un cuaderno los sueños de la noche anterior para profundizar en su propio mundo interior. También entabló una relación cercana con la familia del doctor, llegando a visitarlos en su hogar. Mantuvo correspondencia con amigos y continuó adelante con los problemas matemáticos y los cálculos sobre los patrones biológicos.

Aun así, la realidad de que el país lo trataba como a un criminal y a un traidor en potencia no cambió. Durante la guerra, descifró los secretos de Alemania por el bien de su nación. Al terminar el conflicto, ese mismo país convirtió su vida privada en delito, introdujo sustancias químicas en su cuerpo, le cerró el acceso al secreto y vigiló cada uno de sus pasos. Esta es la razón por la que en el título de este capítulo se incluye la expresión 'la discriminación del Estado'.

En la noche del 7 de junio de 1954, Alan Turing falleció en su casa de Wilmslow. Faltaban unas 2 semanas para su 42.º cumpleaños. A la mañana siguiente, el 8 de junio, la persona que le ayudaba con las tareas domésticas lo encontró sin vida.

Capítulo 16. La muerte de Turing y su tardía rehabilitación (después de 1954)



Figura 16. El sentimiento de recuerdo hacia Turing se representa mediante un banco vacío y un cuaderno de notas.

A principios del verano de 1954, en Wilmslow, una pequeña ciudad del noroeste de Inglaterra, el matemático Alan Turing falleció a los 41 años. Concibió una máquina de cálculo imaginaria con la que sentó las bases teóricas de las computadoras, y durante la guerra contribuyó a salvar la vida de muchas personas al descifrar los códigos del ejército alemán. En Mánchester programó computadoras reales e intentó explicar mediante las matemáticas el principio por el cual se disponen las semillas de girasol o se forman los patrones en los animales.

Sin embargo, cuando falleció, casi nadie conocía debidamente estos logros. Lo que hizo durante la guerra era secreto de Estado, y muchas personas solo lo recordaban como alguien castigado por su homosexualidad. A lo largo de más de medio siglo posterior, la sociedad británica fue redescubriendo poco a poco a este matemático olvidado. La tardía disculpa del gobierno y el indulto real, la ley que lleva su nombre y el billete con su retrato muestran ese proceso.

16.1. La tragedia del 8 de junio de 1954

En libros y películas se suele escribir a menudo que Turing falleció el 8 de junio. Sin embargo, el día en que exhaló su último suspiro y el día en que fue encontrado son diferentes. Turing falleció la noche del lunes 7 de junio de 1954 en el dormitorio de su casa, situada en el número 43 de Adlington Road, Wilmslow. Aquel día era festivo nacional en el Reino Unido. A la mañana siguiente, el martes 8 de junio, la empleada del hogar que acudía a ayudar con las tareas domésticas lo encontró tendido en la cama. Faltaban 16 días para su 42.º cumpleaños.

La policía y un médico acudieron a la casa para examinar el cuerpo, y los resultados de la autopsia determinaron que la causa de la muerte fue una intoxicación por cianuro. El cianuro es una sustancia tóxica que inhibe la capacidad de las células del organismo para utilizar el oxígeno. El cianuro de potasio que Turing utilizaba en sus experimentos de galvanoplastia también pertenece a esta categoría. Pocos días después se abrió una investigación judicial forense. La investigación forense es el procedimiento oficial para determinar las causas de una muerte repentina. En ella, el juez forense dictaminó que Turing se había quitado la vida. Los restos de Turing fueron incinerados el 12 de junio en el crematorio de Woking y sus cenizas se esparcieron allí, en el mismo lugar donde unos años antes se habían esparcido las cenizas de su padre.

Junto con el dictamen del juez forense, se extendió ampliamente la historia de la «manzana con cianuro». Sobre la mesilla de noche había una manzana a la que le faltaban varios mordiscos, y la gente creyó que Turing la había sumergido en cianuro antes de comerla. Sin embargo, en este relato hay aspectos no confirmados. En aquel momento, ni la policía ni el juez forense analizaron si la manzana contenía veneno. Tampoco apareció ninguna nota de suicidio. La afirmación de que la manzana fue el instrumento de la muerte no es un hecho confirmado mediante análisis, sino una conjetura deducida a partir de la escena encontrada.

Debido a esta manzana no analizada y a la ausencia de una nota de suicidio, aún hoy existen diferentes interpretaciones sobre la muerte de Turing. La primera es la interpretación de que se quitó la vida, tal como dictaminó el juez forense. El matemático Andrew Hodges, autor de la biografía más destacada de Turing, respalda esta postura. Se dice que Turing, tras ver en Cambridge en 1938 la película animada de Disney «Blancanieves y los siete enanitos», quedó fascinado por la escena en la que la bruja sumerge la manzana en el veneno y solía imitarla con frecuencia. Hodges planteó que Turing pudo haber recreado esa escena y que tal vez lo preparó para que pareciera un accidente a fin de que su madre sufriera menos.

La segunda es la interpretación de que se trató de un accidente. La madre de Turing, Sara Turing, nunca aceptó a lo largo de su vida el dictamen de que su hijo se había suicidado. Turing había montado un laboratorio en una pequeña habitación de su casa y realizaba experimentos de galvanoplastia para dorar cucharas utilizando electricidad. En estos experimentos de dorado se empleaba cianuro de potasio. Sara sostuvo que su hijo tenía la costumbre de no lavarse bien las manos, por lo que debió de ingerir accidentalmente el veneno impregnado en sus dedos durante el experimento.

La tercera es la postura de aquellos especialistas que reexaminaron las pruebas entre ambas interpretaciones. El estudioso de Turing Jack Copeland señaló en 2012, año del 100.^o aniversario del nacimiento de Turing, que era necesario revisar el dictamen forense. Los motivos que adujo fueron los hábitos cotidianos de Turing y sus actos durante sus últimos días. Turing tenía por costumbre comer una manzana antes de acostarse y a menudo no la terminaba y dejaba restos. Por consiguiente, resultaba difícil sostener que la manzana a medio comer junto a la cama tuviera un significado especial. Además, al marcharse de la oficina el viernes, Turing dejó una nota con las tareas pendientes para el lunes, y las

personas de su entorno lo recordaban animado y con sentido del humor hasta el final. Copeland contempló también la posibilidad de que hubiera inhalado el gas cianuro de hidrógeno liberado durante el experimento.

Todavía hoy es imposible saber cuál de las tres interpretaciones es la correcta. En este punto resulta necesario distinguir entre lo que está confirmado y lo que no lo está. Que Turing falleció a causa de una intoxicación por cianuro es un hecho corroborado por la autopsia. Sin embargo, las circunstancias y la vía concretas que condujeron a dicha intoxicación no han quedado determinadas. La historia de que la manzana contenía veneno también se asemeja más a un rumor popularizado entre la gente que a un hecho verificado.

Existe otro rumor más difundido en relación con la manzana: aquel según el cual el logotipo de la empresa informática estadounidense Apple, es decir, la silueta de una manzana mordida, constituye un homenaje en memoria de Turing. Este rumor no es cierto. El diseñador que trazó el logotipo, Rob Janoff, ha manifestado en repetidas ocasiones que no guarda relación alguna con Turing. La marca del mordisco se incluyó simplemente para que la manzana no se confundiera con una cereza o un tomate. Cuando el actor británico Stephen Fry le preguntó a Steve Jobs acerca de este rumor, se dice que Jobs sonrió comentando que ojalá hubiera sido así, pero respondió que no era verdad.

16.2. Una disculpa tardía y el indulto real

Incluso después de la muerte de Turing, su labor durante la guerra permaneció en secreto durante largo tiempo. En 1946 recibió la Orden del Imperio Británico (OBE), pero la justificación de la condecoración se limitaba a una escueta mención: «por su labor en el Ministerio de Asuntos Exteriores». Debido a la Ley de Secretos Oficiales, no podía revelarle a nadie que había descifrado el código Enigma en Bletchley Park. El propio Turing falleció sin haber podido relatar esto ni siquiera a su propia familia.

El velo del secreto comenzó a levantarse en la década de 1970. El gobierno británico fue desclasificando gradualmente los registros relativos al desciframiento de códigos bélicos. En 1974 se publicó un libro que abordaba la operación de criptoanálisis «Ultra» en Bletchley Park, lo que permitió al público enterarse por primera vez de lo acontecido allí. En 1983, Andrew Hodges publicó la biografía titulada «Alan Turing: The Enigma». Por medio de este libro, numerosas personas descubrieron que Turing no solo era el padre de la

computación, sino también una figura clave y oculta en la guerra. Al mismo tiempo, trascendió que semejante personalidad había sido juzgada por su homosexualidad y obligada a someterse a inyecciones de hormonas femeninas como alternativa a la prisión.

Al salir a la luz de manera conjunta sus logros y el castigo impuesto, se reclamó que el Estado asumiera una postura responsable frente a este hecho. En agosto de 2009, el programador informático británico John Graham-Cumming impulsó una petición en línea para que el gobierno se disculpara formalmente con Turing. En cuestión de pocas semanas, más de 30 000 personas firmaron la petición, y científicos, escritores y líderes políticos sumaron también sus nombres.

La respuesta oficial del gobierno llegó aproximadamente un mes después. El 10 de septiembre de 2009, el primer ministro Gordon Brown emitió una declaración en representación del gobierno británico. Brown reconoció que el trato dispensado a Turing había sido espantoso y rotundamente injusto. Y, en nombre del gobierno británico y de todas las personas que viven en libertad gracias a Turing, declaró: «Lo sentimos, usted merecía algo mucho mejor». Era la primera vez que el Estado admitía su equivocación, 55 años después de la muerte de Turing.

Con todo, la disculpa no era una medida con efecto legal. La condena judicial impuesta a Turing permanecía inalterada en los registros jurídicos. Por ello, más allá de una disculpa, se sucedieron las voces que exigían el indulto de la condena ya dictada. El indulto constituye el acto estatal mediante el cual se perdonan y extinguen la pena o sus consecuencias jurídicas ya impuestas. Ahora bien, el indulto no equivale a reabrir el juicio y declarar la inocencia. Esto se debe a que no rectifica el fallo declarando que la condena en sí fuese incorrecta, sino que representa una medida de gracia que perdona el castigo derivado de dicha sentencia.

Las peticiones de indulto surgieron tanto del Parlamento como de la comunidad científica. John Leech, miembro de la Cámara de los Comunes por la circunscripción de Manchester Withington, presentó en varias ocasiones proyectos de ley en el Parlamento para indultar a Turing. En la Cámara de los Lores, Lord Sharkey presentó un proyecto con idéntico contenido. En diciembre de 2012, científicos de la talla del físico Stephen Hawking, el presidente de la Royal Society Paul Nurse y el astrónomo Martin Rees publicaron una carta en la prensa para reclamar el indulto.

Al principio, el gobierno vaciló. La razón esgrimida era que resultaba difícil revocar en el presente una sentencia dictada de conformidad con las leyes de aquella época. No obstante, la opinión pública que exigía el indulto no cesó de intensificarse. Finalmente, en la víspera de Navidad, el 24 de diciembre de 2013, la reina Isabel II concedió el indulto real a Turing. A propuesta del ministro de Justicia Chris Grayling, la soberana hizo uso de la «Prerrogativa Real de Gracia» —facultad privativa de la Corona— para indultar la condena de 1952.

La noticia del indulto a Turing dio la vuelta al mundo. Sin embargo, esta medida puso al descubierto un nuevo problema. Más de decenas de miles de personas habían sido castigadas con arreglo a esa misma legislación, y la gran mayoría de ellas eran ciudadanos anónimos de a pie. Surgieron críticas sobre si era correcto perdonar únicamente a un célebre científico. Dicha controversia derivó en la exigencia de hacer extensivo el alcance del indulto a todos los afectados.

16.3. La «Ley Alan Turing» y el nuevo billete de 50 libras

Para comprender este reclamo, primero es preciso saber cuánto tiempo estuvo en vigor esa ley y a cuántas personas se aplicó. En Inglaterra y Gales, las leyes que castigaban las relaciones sexuales entre hombres rigieron durante un prolongado período. En 1967 quedaron excluidas de reproche penal las relaciones consensuadas en privado entre hombres de 21 años o más. Ciertas disposiciones discriminatorias subsistieron con posterioridad hasta su derogación definitiva en 2003. Durante todo ese tiempo, innumerables personas fueron detenidas y sometidas a juicio. Muchas de ellas perdieron su empleo o se distanciaron de sus familias. E incluso después de que la ley cambiara, sus antecedentes penales permanecían intactos.

Tras el indulto concedido a Turing, el parlamentario John Leech, Lord Sharkey y varias organizaciones de derechos humanos sostuvieron que se debía indultar a todas las personas castigadas bajo la misma ley. La familia de Turing también se movilizó. En 2015, sus parientes, con su sobrina nieta Rachel Barnes a la cabeza, hicieron entrega en la residencia del primer ministro de una petición respaldada por más de 500 000 firmas. Los principales partidos políticos también se comprometieron sucesivamente a aceptar esta demanda.

El resultado de ello fue la «Ley de Policía y Delincuencia de 2017». Esta ley recibió la sanción real el 31 de enero de 2017. En virtud de esta norma, en Inglaterra y Gales obtuvieron el indulto aquellas personas que cumplían ciertos requisitos entre las que habían sido condenadas en el pasado al amparo de las disposiciones que castigaban la homosexualidad. Las condiciones exigían que la otra persona tuviera 16 años o más en aquel momento, que hubiera consentido en la relación y que la conducta no constituyera delito según los estándares actuales. La gente conoce comúnmente las disposiciones de indulto de esta ley como la «Ley Alan Turing». Aunque no es su denominación oficial, se la llama así porque nació a partir del indulto a Turing.

La modalidad del indulto variaba según si el destinatario ya había fallecido o continuaba con vida. Alrededor de 49 000 personas ya fallecidas recibieron el indulto a través de esta ley; esta es la cifra a la que comúnmente se alude cuando se habla de unas 50 000 personas. A quienes estaban vivos se les habilitó un mecanismo para solicitar ante el gobierno la cancelación de sus antecedentes penales y acceder a continuación al indulto. El acto de borrar los antecedentes penales se conoce en el Reino Unido como «supresión de antecedentes» (disregard). En 2022, la ley se modificó una vez más para ampliar el alcance de los antecedentes susceptibles de cancelación. Así, el indulto a un solo hombre condujo en última instancia a una ley que devolvió el honor a decenas de miles de personas.

El nombre de Turing no quedó plasmado únicamente en los libros de leyes. También quedó grabado en el dinero que la gente sostiene en sus manos cada día. En 2018, el Banco de Inglaterra, el banco central del Reino Unido, solicitó sugerencias a la ciudadanía sobre qué científico debía aparecer en el nuevo billete de 50 libras. Se recibieron más de 200 000 recomendaciones. Tras seleccionar a los candidatos, el 15 de julio de 2019 el banco anunció la elección de Alan Turing como la figura que ilustraría el nuevo billete de 50 libras. El entonces gobernador del banco, Mark Carney, presentó a Turing como la persona que sentó las bases teóricas de la computación moderna.

El nuevo billete se emitió por primera vez el 23 de junio de 2021, coincidiendo con el cumpleaños de Turing. No se confeccionó en papel, sino en polímero, un material plástico resistente y duradero. En el reverso del billete figuran ilustraciones que evocan la vida y las investigaciones de Turing. En primer lugar, se incluye una fotografía suya tomada en 1951, junto con tablas y fórmulas de su artículo de 1936 titulado «Sobre números computables, con una aplicación al Entscheidungsproblem». También contiene los planos de diseño de la

Bombe, empleada para descifrar Enigma, y el Pilot ACE, el modelo de prueba de la computadora ACE diseñada por Turing. En la ilustración de la cinta de papel que se introduce en la máquina, la fecha de nacimiento de Turing, el 23 de junio de 1912, está escrita en código binario compuesto por 0 y 1. La lámina metálica roja en forma de flor adherida al billete se inspira en los girasoles y conmemora la morfogénesis, disciplina que Turing investigó en sus últimos años. Debajo aparece la firma de Turing junto con una cita de una entrevista que concedió al periódico The Times en 1949: «Esto es solo un anticipo de lo que vendrá, y apenas la sombra de lo que ha de suceder». Eran palabras que plasmaban su predicción de que las computadoras llegarían a lograr cosas mucho mayores en el futuro.

Este billete tiene además un significado distinto al de conmemorar sus logros científicos. Turing se convirtió en la primera figura de las minorías sexuales en aparecer en un billete del Banco de Inglaterra. Con motivo de su emisión, el banco izó la bandera del arcoíris sobre el edificio de su sede central en Londres. El mismo país que 70 años antes había castigado a un hombre por su homosexualidad colocó a la persona que sufrió por ese mismo motivo en el billete de 50 libras, la denominación más alta emitida por el Banco de Inglaterra.

Posteriormente, aunque el monarca del Reino Unido cambió, el lugar de Turing en el billete permanece intacto. Con el fallecimiento de la reina Isabel II en 2022 y la subida al trono de Carlos III, el retrato del anverso del billete debió renovarse. A partir del 5 de junio de 2024 comenzaron a circular los nuevos billetes con el rostro de Carlos III, pero el reverso no sufrió alteraciones. En el reverso del billete de 50 libras continúa figurando Alan Turing hasta el día de hoy.

Existen muchas otras formas en las que se recuerda a Turing. Desde 1966, la Asociación para la Maquinaria Computacional (ACM) concede anualmente el «Premio Turing» a quienes han alcanzado grandes logros en las ciencias de la computación. Es un galardón conocido popularmente como el Premio Nobel de la informática. En 2001, en el parque Sackville de Mánchester, se erigió una estatua de Turing sentado en un banco con una manzana en la mano. En 2015, el Reino Unido fundó un instituto nacional de investigación para la ciencia de datos y la inteligencia artificial, bautizándolo con el nombre de «Instituto Alan Turing». Bletchley Park, el lugar donde trabajó, se ha transformado en un museo que acoge a numerosos visitantes cada año.

En junio de 1954, Turing falleció en soledad en su casa de Wilmslow. Todavía hoy se desconoce cómo pasó su última noche. Sin embargo, las ideas que legó no han desaparecido. Los teléfonos inteligentes y las computadoras que usamos hoy en día, así como la inteligencia artificial que conversa con los seres humanos, tienen sus raíces teóricas en aquella máquina imaginaria que él trazó sobre el papel en 1936.

Capítulo 17. Historia y desarrollo de la inteligencia artificial (décadas de 1950 a 2020)

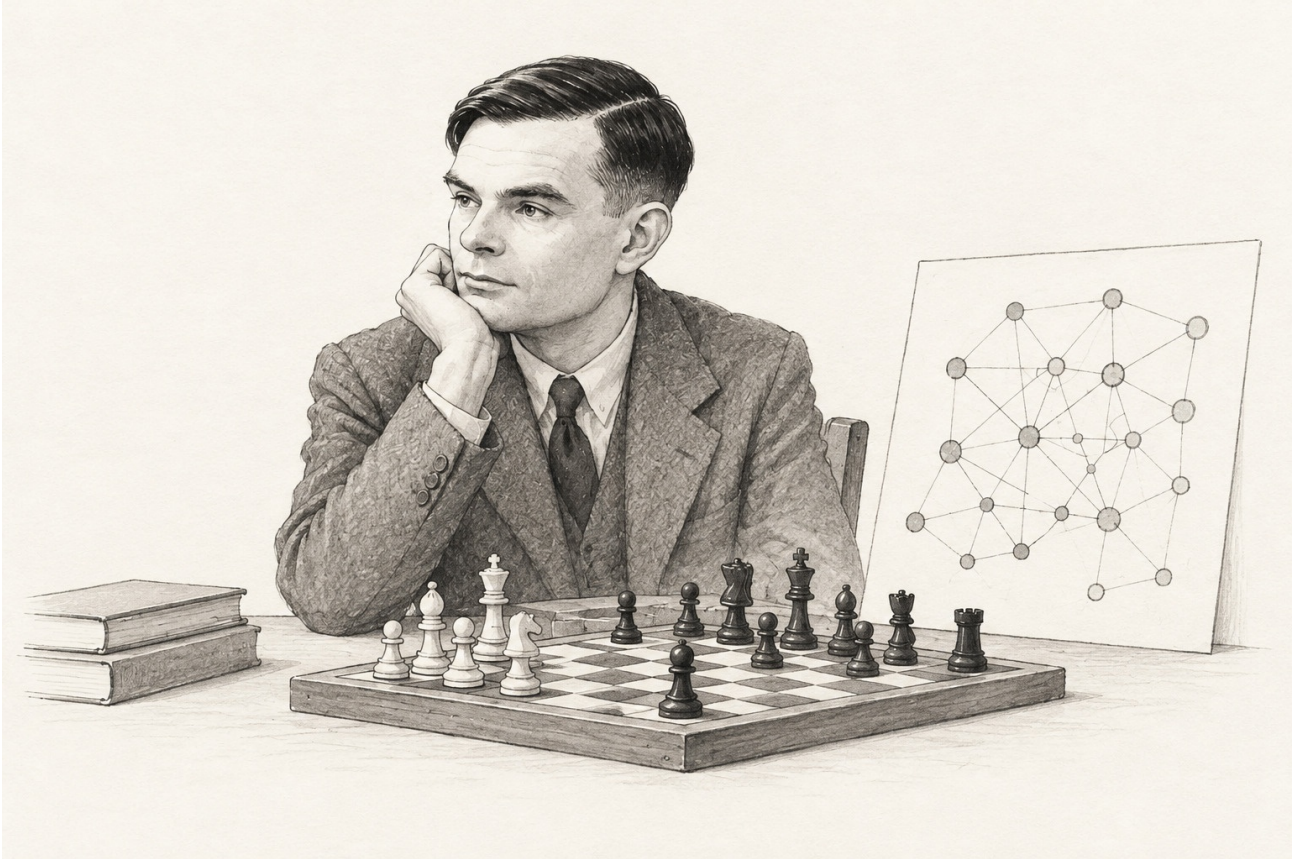


Figura 17. Se ilustra la evolución de la investigación en inteligencia artificial a través del ajedrez y las redes neuronales.

Alan Turing escribió en 1948 el informe «Maquinaria inteligente». En este informe, vislumbró dos caminos para hacer que las máquinas fueran inteligentes. El primero es el camino en el que los seres humanos definen las reglas una por una. El segundo es el camino en el que una máquina conectada como las neuronas del cerebro aprende por sí misma a medida que acumula experiencia.

2 años después, en 1950, Turing publicó el artículo «Maquinaria computacional e inteligencia» en la revista académica *Mind*. En este artículo, planteó la pregunta: «¿Pueden pensar las máquinas?», y propuso el juego de la imitación para distinguir a humanos y máquinas mediante la conversación.

Turing falleció en junio de 1954, a los 41 años. Sin embargo, la pregunta que dejó no desapareció. Durante los 70 años posteriores a la partida de Turing, los científicos recorrieron alternadamente los dos caminos que él había previsto. Cuando un camino se cerraba, el otro se abría, y las expectativas se inflaron y se desvanecieron en repetidas ocasiones. La inteligencia artificial actual se forjó a través de este proceso.

17.1. La Conferencia de Dartmouth y el nacimiento de la IA simbólica (1956~década de 1970)

Surge el nombre de inteligencia artificial

Turing llamó «inteligencia de las máquinas» al campo que investigaba. Este campo recibió su nombre actual al año siguiente de la muerte de Turing. En el verano de 1955, el joven matemático estadounidense John McCarthy redactó una propuesta de investigación junto con 3 colegas: Marvin Minsky de la Universidad de Harvard, Claude Shannon de los Laboratorios Bell y Nathaniel Rochester de IBM. El término que apareció por primera vez en el título de esta propuesta fue «inteligencia artificial (Artificial Intelligence)».

Siguiendo la propuesta, en el verano de 1956 se celebró durante unos 2 meses un encuentro de investigación en el Dartmouth College de Hanover, Nuevo Hampshire, Estados Unidos. Esta reunión se conoce como la Conferencia de Dartmouth. Quienes redactaron la propuesta consideraban que, si se podía describir con precisión cada aspecto del aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia, se podría hacer que una máquina lo imitara. Muchos académicos consideran esta conferencia como el momento en

que la inteligencia artificial nació como disciplina académica. Ocurrió 2 años después de la muerte de Turing.

Máquinas que piensan mediante reglas y símbolos

En la Conferencia de Dartmouth ya se había presentado un programa que respaldaba esta idea: el «Teórico Lógico» (Logic Theorist), llevado por Herbert Simon y Allen Newell, quienes asistieron a la reunión. Este programa demostró por sí mismo teoremas lógicos incluidos en un libro de matemáticas. Se considera uno de los primeros ejemplos representativos en los que una máquina realizó una tarea para la que se creía necesaria la sabiduría humana. A continuación, ambos crearon el «Solucionador General de Problemas» (GPS) para intentar resolver diversos tipos de problemas con el mismo método. En 1958, McCarthy creó LISP, un lenguaje de programación idóneo para la investigación en inteligencia artificial.

Estos primeros investigadores creían que el pensamiento humano podía convertirse en símbolos y reglas. Si se anotan en símbolos las dos oraciones «Todas las aves pueden volar» y «El gorrión es un ave», la máquina deduce la conclusión de que «El gorrión puede volar». Este método de representar el conocimiento mediante símbolos y calcularlo según reglas lógicas se denomina «IA simbólica». También se le llama enfoque «de arriba hacia abajo» (descendente), ya que los humanos establecen las reglas desde arriba y la máquina las sigue. Este método puede vincularse con el enfoque examinado por Turing, en el sentido de que los humanos especifican explícitamente las reglas de cálculo.

Los juegos eran una tarea predilecta de la IA simbólica, y Turing también recorrió este camino tempranamente. En 1948, Turing diseñó junto con su amigo David Champernowne el programa de ajedrez «Turochamp». En aquel momento no había computadoras capaces de ejecutar este programa. Por ello, en 1952, Turing jugó al ajedrez contra un colega siguiendo él mismo los cálculos del programa con papel y lápiz. Se dice que tardaba cerca de 30 minutos en realizar cada movimiento. Turochamp utilizaba un método que preveía varias jugadas hacia adelante para elegir la mejor opción, el cual se convirtió en la base de los programas de ajedrez. Ese camino alcanzó un hito en mayo de 1997, cuando Deep Blue, la computadora de ajedrez de IBM, derrotó al campeón mundial Garry Kasparov.

También aparecieron programas capaces de dialogar. En 1966, Joseph Weizenbaum, del MIT en Estados Unidos, presentó el programa conversacional «ELIZA». ELIZA imitaba el tono de un terapeuta psicológico. Si un usuario sacaba el tema de su madre, respondía pidiéndole que le contara más sobre ella. ELIZA se limitaba a buscar palabras dentro de las frases y a responder según patrones preestablecidos, sin comprender el significado de las oraciones. A pesar de ello, muchas personas le confesaron sus sentimientos más íntimos. Se cuenta que la secretaria de Weizenbaum incluso le pidió que abandonara la habitación mientras ella hablaba con ELIZA. Al presenciar esto, Weizenbaum se preocupó aún más, pues sintió que la gente confiaba con demasiada facilidad en las máquinas.

En 1972, el psiquiatra Kenneth Colby creó un programa llamado «PARRY». PARRY imitaba la forma de hablar de un paciente con sospechas extremas hacia los demás. Cuando se mostraron las transcripciones de las conversaciones a varios psiquiatras, estos no pudieron distinguir con certeza entre PARRY y un paciente real. Fue un experimento que guardaba similitud con el juego de la imitación de Turing, en cuanto a que exigía distinguir entre humanos y máquinas basándose únicamente en la conversación.

Expectativas infladas

Al sucederse los logros en la demostración de teoremas, el ajedrez y la conversación, los investigadores albergaron grandes sueños. En 1965, Herbert Simon predijo que, en el plazo de 20 años, las máquinas serían capaces de realizar cualquier trabajo que pudiera hacer un ser humano. Marvin Minsky también afirmó que, dentro de una generación, el problema central de la inteligencia artificial estaría prácticamente resuelto.

La predicción de Turing fue más prudente que esto. En su artículo de 1950, Turing escribió que, unos 50 años después, la probabilidad de que una persona común acertara si su interlocutor era una máquina tras 5 minutos de conversación no superaría el 70%. Las expectativas de los primeros investigadores se adelantaron por mucho a la predicción de Turing. Los gobiernos y las fuerzas armadas creyeron en las promesas de los investigadores y aportaron cuantiosos fondos para la investigación.

17.2. El invierno de la IA y el contraataque del conexionismo (décadas de 1980~2000)

La IA simbólica se topa con un muro

Las promesas de los investigadores no se cumplieron al nivel esperado. Al entrar en la década de 1970, la IA simbólica chocó contra dos obstáculos.

El primer obstáculo fue la «explosión combinatoria». Incluso en problemas con reglas claras, como el ajedrez o los rompecabezas, cada paso adicional que se prevé multiplica varias veces el número de casos posibles a evaluar. Los programas que funcionaban bien en pequeños problemas de práctica quedaron atrapados en cálculos interminables ante los problemas del mundo real.

El segundo obstáculo fue el «sentido común». La regla vista anteriormente, «Todas las aves pueden volar», resulta falsa frente a los pingüinos y los avestruces. Un pájaro con un ala herida, un pájaro en una pintura o un pollo asado tampoco pueden volar. Los seres humanos conocen estas excepciones sin necesidad de aprenderlas por separado. Sin embargo, para la máquina era necesario registrar cada excepción como una regla, y las excepciones del mundo no tenían fin.

Quienes financiaban las investigaciones quedaron decepcionados. En 1973, el matemático británico James Lighthill presentó un informe a petición del gobierno para evaluar las investigaciones en inteligencia artificial. Dictaminó que la investigación en inteligencia artificial no había logrado los resultados prometidos. Tras la publicación de este «Informe Lighthill», el gobierno británico redujo drásticamente los fondos para la investigación en inteligencia artificial. DARPA, la agencia de investigación del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, también recortó su apoyo por la misma época. Varios proyectos de investigación se suspendieron y los estudiantes emigraron hacia otros campos. A este período se le llama el «primer invierno de la IA».

La primavera de los sistemas expertos y el segundo invierno

En la década de 1980, la inteligencia artificial pareció vivir una nueva primavera. La protagonista de esta etapa fue el «sistema experto». Los sistemas expertos no tratan sobre

el mundo en su conjunto, sino únicamente sobre el conocimiento de un campo delimitado. El conocimiento recabado consultando a expertos, como médicos o ingenieros, se organiza en cientos o miles de reglas como «si existen estos síntomas, es muy probable que se trate de tal enfermedad» y se introduce en la computadora. Este método seguía exactamente el camino de la IA simbólica en cuanto a que los humanos establecían las reglas, pero reducía el alcance abordado.

También surgieron casos que demostraron utilidad práctica. Desarrollado en la década de 1970 en la Universidad de Stanford en Estados Unidos, «MYCIN» recomendaba los antibióticos adecuados para pacientes con infecciones sanguíneas mediante unas 600 reglas. Desde 1980, la empresa de computación DEC utilizó un sistema experto llamado «XCON» para seleccionar la combinación de componentes informáticos que mejor se adaptaba a los pedidos de los clientes, ahorrando enormes costos cada año. Los gobiernos de diversos países también reaccionaron. En 1982, el gobierno japonés inició el proyecto de «computadoras de 5.^a generación», y Estados Unidos y el Reino Unido también se apresuraron a incrementar de nuevo los presupuestos para la investigación en inteligencia artificial.

Sin embargo, esta primavera tampoco duró mucho. Trasladar el conocimiento alojado en la mente de los expertos a un conjunto de reglas requería muchísimo tiempo. A menudo, los propios expertos eran incapaces de explicar sus juicios mediante reglas. Al aumentar las reglas a varios miles, surgieron contradicciones entre ellas, y corregir una regla generaba problemas en otra parte. Cuando el sistema se encontraba con una situación no prevista en las reglas, quedaba completamente inoperante.

Hacia 1987, el mercado de computadoras dedicadas a la inteligencia artificial colapsó. El proyecto japonés de computadoras de 5.^a generación también concluyó en 1992 sin haber alcanzado sus metas. Este período de estancamiento, que se extendió desde finales de la década de 1980 hasta principios de la de 1990, se conoce como el «segundo invierno de la IA».

Máquinas que imitan el cerebro: redes neuronales

Mientras la IA simbólica atravesaba su invierno, los investigadores que transitaban por el otro camino acumulaban fuerzas en silencio. Ellos buscaron la respuesta en el cerebro

humano. En el cerebro humano hay unas 86.000 millones de neuronas, las cuales están interconectadas e intercambian señales. Cuando se aprende algo, la fuerza de estas conexiones se modifica.

Los programas informáticos que imitan este principio se denominan «redes neuronales artificiales». La idea de generar inteligencia a través de las conexiones de una red neuronal se conoce como «conexionismo». Dado que la máquina aprende de la experiencia y construye la inteligencia desde abajo hacia arriba en lugar de recibir reglas impuestas desde arriba, también se le llama método «ascendente» (bottom-up).

En las raíces de esta idea también se encuentra Turing. En su informe de 1948 «Maquinaria inteligente», Turing concibió las «máquinas no organizadas». Se trataba de la idea de que una máquina con componentes conectados al azar al principio podía transformarse gradualmente en una máquina útil a medida que sus conexiones cambiaban poco a poco al ser entrenada mediante recompensas y castigos. Turing consideraba que el cerebro de un recién nacido era similar a esto. Sin embargo, el director del Laboratorio Nacional de Física, donde trabajaba Turing, menospreció este informe calificándolo al nivel de una redacción escolar. El informe no se publicó en un libro y se dio a conocer al mundo hasta 1968, 14 años después de la muerte de Turing.

Mientras el informe de Turing permanecía relegado, la investigación en redes neuronales comenzó de forma independiente, pero ese camino tampoco estuvo exento de dificultades. En 1958, el psicólogo estadounidense Frank Rosenblatt presentó el «perceptrón», capaz de aprender a distinguir letras y formas, lo que despertó un gran interés. Sin embargo, en 1969, Marvin Minsky y Seymour Papert demostraron matemáticamente en su libro «Perceptrones» que un perceptrón de una sola capa ni siquiera podía resolver problemas lógicos sencillos. El ejemplo que presentaron fue el problema «XOR», cuya respuesta es verdadera solo cuando una de las dos entradas es verdadera. Tras la publicación de este libro, la investigación en redes neuronales tuvo dificultades para recibir financiamiento durante mucho tiempo.

La retropropagación del error: el resurgimiento de las redes neuronales

La clave para resolver el problema residía en apilar las redes neuronales en múltiples capas. Al apilar capas, era posible resolver problemas como XOR. Sin embargo, al aumentar el

número de capas, surgió una nueva dificultad: resultaba muy difícil saber cómo ajustar las conexiones de las capas intermedias internas.

En 1986, David Rumelhart, Geoffrey Hinton y Ronald Williams compilaron y publicaron el método de «retropropagación» (backpropagation) en la revista científica *Nature*. Una idea similar ya había sido planteada con anterioridad por el estadounidense Paul Werbos en su tesis doctoral de 1974. El principio funciona así: cuando la red neuronal genera una respuesta, se compara con la respuesta correcta para medir el grado de desviación, es decir, el error. Luego, este error se transmite hacia atrás, desde la salida hacia la entrada, calculando la responsabilidad de cada conexión en el error para ajustarla gradualmente. Se asemeja a un método de estudio en el que, tras rendir un examen, se revisan las preguntas incorrectas para detectar dónde se cometió el error y corregirlo.

Este método pronto se aplicó a problemas prácticos. En 1989, el investigador de origen francés Yann LeCun creó en los Laboratorios Bell de Estados Unidos una red neuronal capaz de leer dígitos manuscritos mediante retropropagación. La red de LeCun era una «red neuronal convolucional», que examinaba las imágenes dividiéndolas en pequeños fragmentos. En la década de 1990, esta tecnología se utilizó en los bancos estadounidenses para leer los números escritos en los cheques.

Aun así, hasta la década de 1990 y principios de la de 2000, las redes neuronales no lograron convertirse en las protagonistas de la investigación en inteligencia artificial. Las computadoras eran lentas y los datos para entrenar las redes neuronales resultaban escasos. En muchos casos, otros métodos ofrecían un mejor rendimiento. En medio de ese panorama, investigadores como Hinton, LeCun y el canadiense Yoshua Bengio no abandonaron la investigación sobre redes neuronales. La indagación acerca de si las máquinas podían aprender a partir de la experiencia continuó a través de los diversos enfoques de múltiples investigadores.

17.3. La revolución del aprendizaje profundo y el comienzo de la era de la IA generativa (décadas de 2010~2020)

La convergencia de tres factores

La razón por la que las redes neuronales no habían podido ser las protagonistas eran las computadoras lentas y la falta de datos. Hacia 2010, se reunieron simultáneamente para los investigadores de redes neuronales los tres factores largamente esperados.

El primer factor fue el big data. Con la difusión de Internet y los teléfonos inteligentes, se acumuló una inmensa cantidad de fotografías, textos y videos. Fei-Fei Li y el equipo de investigación de la Universidad de Princeton presentaron en 2009 «ImageNet», un conjunto de datos en el que se etiquetaba lo que aparecía en cada fotografía. El artículo de aquel entonces presentó cerca de 3,2 millones de fotografías, y con el tiempo el material aumentó a más de 14 millones de imágenes.

El segundo factor fue la GPU. La GPU, es decir, la unidad de procesamiento gráfico, era originalmente un componente fabricado para renderizar los gráficos de los videojuegos. La GPU calcula simultáneamente los innumerables puntos que componen una pantalla. Esta capacidad se adaptaba a la perfección para calcular de una sola vez las incontables conexiones de una red neuronal.

El tercer factor fue la tecnología para entrenar adecuadamente redes neuronales profundas. Investigadores como Hinton descubrieron gradualmente métodos para entrenar redes neuronales con múltiples capas profundas superpuestas. A la técnica de aprendizaje mediante redes neuronales profundas se le llama «aprendizaje profundo» (deep learning).

En 2012, estos tres factores se unieron en un mismo lugar. En la competencia de reconocimiento de imágenes ImageNet, «AlexNet», una red neuronal creada por los discípulos de Hinton, Alex Krizhevsky e Ilya Sutskever, junto con el propio Hinton, obtuvo el 1.er puesto. AlexNet se entrenó con 2 GPU para videojuegos. En cuanto a la tasa de error top-5 (la proporción en la que la respuesta correcta no se encontraba entre las cinco respuestas más probables), AlexNet registró cerca del 15%, mientras que el equipo del 2.º puesto obtuvo alrededor del 26%. Se trataba de una diferencia de más de 10 puntos porcentuales con respecto al 2.º lugar. Al observar este resultado, investigadores y empresas viraron apresuradamente hacia el aprendizaje profundo. En pocos años, la detección de rostros en fotos, la conversión de voz a texto y la traducción de idiomas extranjeros mejoraron de forma asombrosa.

Marzo de 2016: AlphaGo y Lee Sedol

El acontecimiento que dio a conocer ampliamente el aprendizaje profundo al público tuvo lugar en Seúl. Del 9 al 15 de marzo de 2016, en un hotel de Seúl, AlphaGo, el programa de go de Google DeepMind, y el maestro de 9.º dan Lee Sedol disputaron cinco partidas. Dado que el número de jugadas posibles en el go supera la cantidad de átomos del universo, el método de examinar cada movimiento uno a uno, como en el ajedrez, no funciona. Por esta razón, muchos expertos creían que se necesitarían más de 10 años para que una computadora derrotara a un jugador de go de máximo nivel.

El equipo de investigación liderado por Demis Hassabis y David Silver incorporó dos redes neuronales en AlphaGo para resolver este problema. Una era una red neuronal que seleccionaba la siguiente jugada prometedora, y la otra era una red neuronal que evaluaba quién tenía mayores probabilidades de ganar en la situación actual del tablero. AlphaGo aprendió primero examinando unas 30 millones de posiciones extraídas de registros de partidas jugadas por humanos. Luego, perfeccionó sus habilidades jugando innumerables partidas contra sí mismo. Se ajustó a sí mismo para jugar con más frecuencia los movimientos que conducían a la victoria y descartar aquellos que llevaban a la derrota. A este método de aprendizaje se le conoce como «aprendizaje por refuerzo».

El resultado de la contienda fue una victoria de 4 a 1 para AlphaGo. En la segunda partida, la jugada 37 realizada por AlphaGo fue considerada inicialmente como un error por los jugadores profesionales, pero más tarde se reconoció como el movimiento decisivo que definió el juego. En la cuarta partida, Lee Sedol, 9.º dan, desestabilizó los cálculos de AlphaGo con su jugada 78 y se llevó la victoria en esa partida. Esta quedó como la única partida oficial en la que AlphaGo fue derrotado por un ser humano.

El método de aprendizaje de AlphaGo enlaza con la antigua propuesta de Turing. En la última sección de su artículo de 1950, «Máquinas que aprenden», Turing propuso que, en lugar de imitar la mente de un adulto, se creara una máquina semejante a la de un niño y se la educara mediante premios y castigos. AlphaGo fue un ejemplo que materializó aquella propuesta de hacía 66 años a una escala colosal. Al año siguiente, en 2017, DeepMind presentó «AlphaGo Zero», que aprendió por sí sola conociendo únicamente las reglas del go, sin registros de partidas humanas. AlphaGo Zero disputó 100 partidas contra la versión de AlphaGo que había derrotado a Lee Sedol, 9.º dan, y ganó todas.

Transformer: leer oraciones enteras de una sola vez

Después de las imágenes y el go, llegó el turno del lenguaje. Hasta entonces, las redes neuronales lingüísticas leían las oraciones palabra por palabra de forma secuencial desde el principio. Por ello, si la oración era larga, resultaba fácil olvidar el contenido inicial, y la velocidad era lenta porque no se podía avanzar a la siguiente palabra hasta que concluyera el cálculo de la palabra anterior.

En junio de 2017, 8 investigadores de Google publicaron el artículo «Attention Is All You Need» (La atención es todo lo que necesitas) y presentaron una nueva arquitectura de red neuronal llamada «Transformer». El Transformer procesa todas las palabras de una oración de forma simultánea y calcula el grado de relación entre cada palabra y las demás. A este cálculo se le denomina «atención» (attention). Tomemos como ejemplo la oración: «Cheolsoo le prestó un libro a Younghee, y ella se lo agradeció». El Transformer identifica mediante cálculo que «ella» está estrechamente relacionada con «Younghee». Incluso si la oración se alarga, calcula de forma directa la relación entre palabras distantes entre sí. Además, durante el entrenamiento, el Transformer puede procesar los cálculos de múltiples posiciones en paralelo, aprovechando las GPU con gran eficiencia. No obstante, al generar texto nuevo, produce sucesivamente la parte siguiente a partir del contenido ya generado.

Grandes modelos de lenguaje y ChatGPT

A partir del Transformer surgieron los «grandes modelos de lenguaje» (LLM). Los grandes modelos de lenguaje leen una enorme cantidad de textos como libros, artículos y enciclopedias, practicando repetidamente la predicción de la siguiente palabra en una oración. Dado que el propio texto sirve a la vez de problema y de respuesta correcta, no es necesario que los humanos etiqueten los datos uno por uno.

La empresa estadounidense OpenAI lanzó su primer GPT en 2018 y continuó aumentando de forma constante el tamaño del modelo. GPT-3, lanzado en 2020, contenía 175.000 millones de parámetros, es decir, números que representan la fuerza de las conexiones. Al aumentar su tamaño, el modelo comenzó a realizar tareas que no se le habían enseñado explícitamente por separado: compuso poesía, escribió programas informáticos y tradujo múltiples idiomas.

El 30 de noviembre de 2022, OpenAI presentó el servicio conversacional «ChatGPT». Cualquier persona podía ingresar al sitio web, hacer preguntas en su propio idioma y recibir

respuestas en oraciones naturales. Surgieron estimaciones de que el número de usuarios de ChatGPT alcanzó cerca de 100 millones en apenas 2 meses tras su lanzamiento. Posteriormente, empresas como Google, Anthropic y Meta lanzaron sucesivamente sus propios grandes modelos de lenguaje. A las inteligencias artificiales que no solo generan texto, sino también imágenes, música y video, se las agrupa bajo la denominación de «IA generativa».

Los logros que impulsaron el avance de la inteligencia artificial también fueron reconocidos con los principales premios académicos. Hinton, LeCun y Bengio fueron elegidos galardonados con el Premio Turing en 2018. El Premio Turing es conocido como el Premio Nobel de las ciencias de la computación y debe su nombre a Alan Turing. Las tres personas que defendieron la investigación en redes neuronales durante el invierno de la IA recibieron así el premio que lleva el nombre de Turing. En 2024, John Hopfield y Geoffrey Hinton, quienes sentaron las bases de la investigación en redes neuronales, recibieron el Premio Nobel de Física. Ese mismo año, Demis Hassabis y John Jumper recibieron el Premio Nobel de Química por la predicción de la estructura de proteínas mediante AlphaFold, y David Baker por el diseño computacional de proteínas.

El juego de la imitación se reanuda 75 años después

El juego de la imitación propuesto por Turing también volvió a primer plano. En marzo de 2025, Cameron Jones y Benjamin Bergen, de la Universidad de California en San Diego, Estados Unidos, publicaron los resultados de un experimento llevado a cabo siguiendo exactamente el formato de tres participantes propuesto originalmente por Turing. Los participantes mantuvieron simultáneamente una conversación por texto durante 5 minutos con un humano y una inteligencia artificial, para luego determinar cuál de ellos era la persona humana. GPT-4.5, al que se le instruyó comportarse como un ser humano, fue seleccionado como humano en el 73% de los casos, siendo elegido como persona con mayor frecuencia que los humanos reales. En el mismo experimento, ELIZA registró un 23%. Esta investigación fue publicada como artículo formal en 2026 en la revista académica estadounidense *Actas de la Academia Nacional de Ciencias (PNAS)*.

Este resultado no significa necesariamente que las máquinas piensen como los seres humanos. El 70% mencionado anteriormente por Turing correspondía a la tasa de acierto del interrogador, mientras que el 73% de este experimento representa la proporción en la

que la IA fue seleccionada como humano, por lo que ambas cifras no pueden compararse de forma directa. También es necesario examinar las condiciones experimentales. Los investigadores instruyeron a GPT-4.5 para que conversara como una persona joven, introvertida, familiarizada con la cultura de Internet y que utilizaba jerga. Cuando se realizó el experimento sin estas instrucciones, la puntuación se redujo al 36%. Determinar si una respuesta verosímil y la verdadera comprensión pueden considerarse equivalentes es un debate de larga data. En 1980, en su experimento mental de la «habitación china», el filósofo John Searle sostuvo que manipular símbolos según reglas para producir respuestas plausibles es diferente de comprender el significado. Los académicos continúan divididos sobre esta cuestión incluso hoy en día.

La inteligencia artificial, que recibió su nombre en Dartmouth en 1956, creció transitando alternativamente entre el camino de las reglas y el camino del aprendizaje. Del camino de las reglas surgió Deep Blue, y del camino del aprendizaje surgieron AlphaGo y ChatGPT. El informe de Turing de 1948 es uno de los primeros estudios que exploró de forma conjunta tanto las reglas como el aprendizaje de las máquinas. Los científicos han continuado investigando durante más de 70 años para responder a la pregunta de Turing: «¿Pueden pensar las máquinas?», y las tecnologías surgidas a lo largo de ese proceso están transformando nuestra vida cotidiana en la actualidad.

Capítulo 18. La inteligencia artificial en 2026 y los desafíos pendientes



Figura 18. Ilustración que muestra a estudiantes examinando juntos las respuestas de la inteligencia artificial.

En octubre de 1950, Alan Turing planteó la pregunta '¿pueden pensar las máquinas?' al publicar el artículo «Maquinaria computacional e inteligencia» en la revista filosófica británica *Mind*. Propuso el 'juego de la imitación' como método para encontrar la respuesta a esta pregunta. Se trata de una prueba en la que un interrogador conversa únicamente por escrito y luego adivina si su interlocutor es una persona o una máquina. Turing añadió una predicción: dentro de unos 50 años, las computadoras jugarían tan bien a este juego que un interrogador común, tras conversar durante 5 minutos, no tendría más del 70 por ciento de probabilidades de acertar la identidad de su interlocutor.

Han pasado 76 años desde que Turing escribió este texto. Ahora es octubre de 2026. La inteligencia artificial que evoca las 'máquinas pensantes' imaginadas por Turing se utiliza hoy en escuelas y hospitales, tribunales y empresas, y laboratorios de todas partes. En este capítulo examinamos, paso a paso, hasta dónde ha llegado la inteligencia artificial en 2026, cómo está transformando la vida de las personas y qué nos plantea hoy la pregunta que dejó Turing.

18.1. Octubre de 2026: el salto y el estado actual de la IA

Inteligencia artificial elegida como humana

Durante mucho tiempo tras la publicación del artículo de Turing, numerosos programas desafiaron la prueba de Turing. Sin embargo, la mayoría fue criticada por recurrir a artimañas para engañar a las personas en lugar de demostrar inteligencia. 'Eugene Goostman', en 2014, es un ejemplo de ello. Este programa ocultaba sus propios errores fingiendo ser un chico ucraniano de 13 años con un inglés torpe.

En marzo de 2025, Cameron Jones y Benjamin Bergen, de la Universidad de California en San Diego, Estados Unidos, publicaron los resultados de un nuevo experimento. Se trataba de un experimento diseñado a partir del juego de la imitación de Turing. Los participantes conversaron por escrito durante 5 minutos de manera simultánea con una persona y una máquina, y luego eligieron cuál de los dos era el ser humano. GPT-4.5, al que se le indicó comportarse como un humano, fue elegido como humano en el 73 por ciento de los casos. Fue seleccionado como humano con mayor frecuencia que la persona real con la que conversaron. LLaMa-3.1, que recibió la misma instrucción, obtuvo un 56 por ciento, mientras que ELIZA y GPT-4o, incluidos para fines comparativos, solo alcanzaron un 23

por ciento y un 21 por ciento, respectivamente. El equipo de investigación describió este resultado como la primera prueba experimental de que una máquina superó la prueba estándar de Turing de 3 personas. Este artículo se publicó formalmente más tarde en las Actas de la Academia Nacional de Ciencias (PNAS).

Hay quienes afirman, ante este resultado, que la profecía de Turing se ha cumplido. Sin embargo, el 70 por ciento que mencionó Turing y el 73 por ciento de este experimento miden cosas distintas. El 70 por ciento de Turing es la proporción en la que el interrogador distingue correctamente a su interlocutor, mientras que el 73 por ciento de este experimento es la proporción en la que GPT-4.5 fue elegido como humano. Dado que el método de evaluación y el significado de los valores son diferentes, no se deben comparar directamente ambas cifras.

Hay otro aspecto digno de atención en este experimento. Los investigadores indicaron a GPT-4.5 que conversara como una persona joven e introvertida, habituada a la cultura de internet y al uso de jerga. Sin esta instrucción de actuar como tal, la proporción en la que GPT-4.5 fue elegido como humano cayó al 36 por ciento. La instrucción de conversar como un personaje determinado influyó de manera decisiva en los resultados. Por lo tanto, lo que evaluó este experimento es la capacidad de aparentar ser humano en una conversación. Este resultado por sí solo no permite demostrar si la máquina comprende o no el significado de las palabras.

De máquinas que hablan a máquinas que trabajan

Una de las tendencias más destacadas en la inteligencia artificial de 2026 es la 'IA de agentes'. Un agente significa 'alguien que asume y realiza una tarea en representación de otro'. Los servicios conversacionales iniciales familiares para el público funcionaban principalmente ofreciendo respuestas a preguntas. En cambio, la IA de agentes, cuando un humano le fija un objetivo, puede dividir esa tarea en múltiples pasos, buscar la información necesaria, escribir y ejecutar programas, corregir errores y dar continuidad al trabajo. No obstante, dado que puede cometer fallos en el proceso o no lograr completar la tarea, un ser humano debe verificar los resultados.

La programación es un campo donde la IA de agentes se utiliza con gran intensidad. Hacia 1950-1951, Turing preparó el «Manual para programadores» destinado a quienes operaban

computadoras en la Universidad de Mánchester. En aquella época, las personas debían aprender el lenguaje de la máquina línea por línea. En 2026, si un humano describe el programa que desea en lenguaje común, la inteligencia artificial escribe el código, lo pone a prueba y lo depura.

Entonces, ¿cuánto tiempo de trabajo puede realizar la inteligencia artificial por sí sola? La entidad de investigación estadounidense METR se dedica a medirlo. Su método consiste en preparar diversas tareas en campos como el desarrollo de software, el aprendizaje automático y la seguridad que a una persona capacitada le toman determinado tiempo, para medir la duración de las tareas que la inteligencia artificial logra completar con una probabilidad de éxito cercana al 50 por ciento. METR denomina a esta duración el 'horizonte temporal de tareas' de dicha inteligencia artificial. A comienzos de 2024, incluso los modelos más avanzados se limitaban a resolver tareas de unos 4 minutos. Ese tiempo se incrementó rápidamente y, en febrero de 2026, llegó a estimarse en unas 14.5 horas, superando una jornada de trabajo diaria. Sin embargo, este valor disminuyó tras corregirse un error en la metodología estadística, y en el análisis publicado por METR en marzo de 2026, el horizonte temporal de tareas del modelo Claude Opus 4.6 se situó en unas 12 horas.

Como pone de manifiesto el hecho de que la estimación cambiara en cuestión de 1 mes, esta cifra varía según las tareas seleccionadas y el método con que se midan. La propia METR señaló los límites de este indicador: todas las tareas de prueba eran labores que podían completarse de forma individual, mientras que el trabajo real que los humanos desempeñan durante meses requiere casi siempre la colaboración de varias personas. Que la cifra haya aumentado no implica que se le pueda confiar directamente el trabajo humano.

La inteligencia artificial convertida en colega de investigación científica

La inteligencia artificial también está transformando el aspecto de la investigación científica. En primer lugar, cabe señalar la investigación sobre proteínas. Las proteínas son moléculas que desempeñan múltiples funciones dentro de nuestro cuerpo. Saber de qué forma se pliega una proteína facilita comprender la causa de una enfermedad y diseñar medicamentos. AlphaFold, de Google DeepMind, predice computacionalmente esta conformación. En reconocimiento a este logro, el Premio Nobel de Química de 2024 fue

concedido a Demis Hassabis y John Jumper, creadores de AlphaFold, y a David Baker, quien diseñó nuevas proteínas mediante computadoras.

La búsqueda de nuevos materiales también se ha acelerado. En noviembre de 2023, Google DeepMind predijo mediante cálculo 2.2 millones de candidatos a nuevas estructuras cristalinas utilizando una inteligencia artificial llamada GNoME, y estimó que alrededor de 380 000 de ellas serían estables. Esta cifra corresponde a la cantidad de candidatos predichos mediante computación, y sintetizarlos y verificarlos en la práctica constituye un desafío independiente. Con todo, es un resultado que puede contribuir al descubrimiento de nuevos materiales para baterías o semiconductores. En el ámbito del desarrollo farmacéutico también se registraron avances. Un fármaco candidato para el tratamiento de la fibrosis pulmonar, desarrollado mediante inteligencia artificial tanto para identificar dianas terapéuticas como para diseñar moléculas farmacológicas, se sometió a ensayos clínicos en seres humanos, y en junio de 2025 sus resultados preliminares se publicaron en la revista Nature Medicine.

En las matemáticas también hubo noticias de gran relevancia. Frente a los problemas de la Olimpiada Internacional de Matemática (IMO) celebrada en Australia en julio de 2025, las inteligencias artificiales de Google DeepMind y de OpenAI obtuvieron, respectivamente, una calificación equivalente a 35 puntos sobre un máximo de 42. Para un participante humano, esta puntuación equivale a una medalla de oro. Sin embargo, esto no significa que la inteligencia artificial haya competido junto a las personas en el certamen ni que haya recibido una medalla; significa que alcanzó la puntuación de referencia para una medalla de oro en una evaluación resolviendo los mismos problemas. La índole de ambos resultados también difiere en parte: la puntuación de Google DeepMind fue una evaluación calificada formalmente por el comité organizador de la competencia, mientras que la de OpenAI consistió en la presentación de un experimento realizado internamente por la empresa. No obstante, los matemáticos observaron este resultado con atención, dado que lograron redactar demostraciones por escrito dentro del tiempo del examen al igual que los humanos.

¿Ha llegado la inteligencia artificial general?

A la vista de tales logros, algunas empresas e investigadores sostienen que ya hemos alcanzado o nos encontramos a las puertas de una 'inteligencia artificial general (AGI)' de

nivel humano. Por inteligencia artificial general se entiende no una máquina eficiente en una sola tarea, sino una máquina capaz de aprender y resolver problemas nunca antes vistos, tal como lo hace un ser humano.

Sin embargo, numerosos expertos discrepan de esta afirmación. Cuando la Asociación para el Avance de la Inteligencia Artificial (AAAI) consultó a los investigadores en marzo de 2025, el 76 por ciento de los encuestados respondió que la posibilidad de alcanzar una inteligencia artificial general mediante la simple ampliación a gran escala de los métodos actuales era baja o muy baja. Por añadidura, en este ámbito todavía no hay consenso sobre cómo definir la inteligencia artificial general ni sobre cómo ponerla a prueba. Dado que los criterios no están definidos, resulta igualmente difícil dictaminar si se ha alcanzado.

Existe asimismo una interrogante más profunda. En 1980, el filósofo John Searle planteó el experimento mental denominado la 'habitación china'. Una persona que no sabe chino permanece dentro de una habitación y, consultando únicamente un voluminoso manual de reglas, redacta y entrega respuestas adecuadas a preguntas formuladas en chino. Vista desde el exterior, da la impresión de dominar el chino. No obstante, esa persona ignora por completo el significado de los caracteres. Valiéndose de este ejemplo, Searle sostuvo que manipular símbolos con destreza conforme a reglas y comprender su significado son dos cosas diferentes. Que la inteligencia artificial de 2026 hable con fluidez no permite afirmar aún si comprende el mundo, cuestión que sigue sin respuesta. Los fundamentos para aseverar que la inteligencia artificial general ha llegado son todavía insuficientes, y este asunto permanece como un debate abierto.

18.2. Redefinición de la sociedad, la industria y la condición humana

Cambia la forma de trabajar

Con la aparición de la IA de agentes, la modalidad de trabajo está cambiando en numerosos centros laborales. Tareas como redactar borradores de informes, organizar información, responder correos electrónicos y detectar fallos en programas son realizadas en primera instancia por la inteligencia artificial y luego revisadas por seres humanos. Como resultado, hay sectores donde el trabajo se ha agilizado y lugares donde los puestos de trabajo desempeñados por personas se han reducido.

Sobre la dirección hacia la que derivará este cambio, el economista Erik Brynjolfsson acuñó en 2022 el término 'la trampa de Turing'. Se trata de una advertencia: si el desarrollo técnico se orienta exclusivamente a imitar a las personas con exactitud para sustituirlas, los salarios de los trabajadores pueden descender y la brecha entre ricos y pobres puede ensancharse. Brynjolfsson propuso una vía alternativa: orientar el desarrollo de la tecnología hacia el 'aumento', es decir, expandir las capacidades humanas para que las personas puedan realizar lo que antes no podían hacer. Del mismo modo que la calculadora no eliminó a los matemáticos, sino que les permitió abocarse a problemas más complejos, la inteligencia artificial también puede emplearse con el propósito de asistir al ser humano.

Transformaciones en los campos médico y jurídico

En los ámbitos donde se gestionan la salud y los derechos humanos, los límites entre las tareas a cargo de la inteligencia artificial y las asumidas por los humanos se manifiestan con mayor nitidez. En los hospitales, la inteligencia artificial interpreta imágenes de rayos X y tomografías computarizadas (TC) y señala las áreas dudosas. También organiza el historial clínico de los pacientes y advierte al médico sobre aspectos que pudieron pasar inadvertidos. No obstante, emitir un diagnóstico y determinar las pautas terapéuticas requiere el criterio profesional del médico. Por muy certera que resulte la lectura de imágenes por parte de la inteligencia artificial, el rol del médico, que examina tales conclusiones y asume la responsabilidad frente al paciente, sigue siendo insustituible.

El ámbito legal presenta un panorama similar. La inteligencia artificial localiza precedentes y redacta borradores de contratos y demandas judiciales. Ahora bien, la inteligencia artificial también suele inventar precedentes inexistentes dotándolos de apariencia verosímil. En distintos países se han registrado casos de abogados que recibieron sanciones disciplinarias por presentar ante los tribunales precedentes apócrifos generados por inteligencia artificial sin haberlos cotejado. Quien firma los documentos legales y responde por su contenido es el abogado. Por esta razón, la revisión del abogado, que no da por válidos a ciegas los borradores redactados por la inteligencia artificial y corrobora los hechos, continúa siendo indispensable.

Los distintos países también están promulgando normativas para regular la inteligencia artificial. La Unión Europea aprobó la Ley de Inteligencia Artificial y la aplica de forma escalonada. En Corea, la «Ley Marco sobre el Desarrollo de la Inteligencia Artificial y la

Creación de Bases de Confianza» entró en vigor el 22 de enero de 2026. El principio compartido por estas leyes consiste en someter a una supervisión más rigurosa a las inteligencias artificiales capaces de incidir sustancialmente en la vida o los derechos de las personas, y asegurar que la ciudadanía esté al tanto de que un determinado producto ha sido generado por inteligencia artificial.

¿Quién es el autor de la creación?

La inteligencia artificial elabora pinturas, compone música y escribe novelas. Hay canciones creadas por inteligencia artificial que gozan de la preferencia de amplios públicos. Entre pintores y compositores, existen también creadores que emplean la inteligencia artificial a modo de pincel o instrumento musical para dar vida a nuevas obras.

Frente a ello, se ha planteado un interrogante inédito: ¿a quién pertenecen las obras producidas por la inteligencia artificial? En un informe difundido en enero de 2025, la Oficina del Derecho de Autor de Estados Unidos sostuvo la postura de que debe existir un aporte humano sustancial en la creación para que pueda concederse protección de derechos de autor. Ello implica no otorgar derechos de autor a las producciones generadas exclusivamente por una máquina. La controversia no atañe solo a los productos finales, sino también al proceso de entrenamiento: se han entablado numerosos litigios en torno a la utilización no autorizada de textos e ilustraciones de diversos autores durante la fase de aprendizaje de la inteligencia artificial.

La inteligencia artificial como herramienta y el lugar del ser humano

La incógnita de si una máquina puede originar algo nuevo fue tratada también por Turing. En su artículo de 1950, Turing expuso la tesis de Ada Lovelace. La matemática del siglo 19 Lovelace había escrito que las máquinas no son capaces de originar nada por iniciativa propia y que únicamente pueden ejecutar aquello que los humanos les ordenan. Turing rechazó este argumento: consideraba que las máquinas también pueden aprender y llegar a sorprender a las personas.

La inteligencia artificial de 2026 se sitúa en algún punto intermedio entre ambas visiones. Con frecuencia, la inteligencia artificial sorprende a los humanos. Sin embargo, los sistemas de inteligencia artificial de hoy determinan su proceder y actúan con arreglo a

directrices y objetivos asignados. En consecuencia, corresponde a los seres humanos definir tales metas y atribuciones, así como fiscalizar los resultados.

El ajedrez brinda un ejemplo elocuente. Tras ser vencido en 1997 por la computadora Deep Blue, el campeón mundial Garry Kasparov propuso modalidades de juego en las que humanos y computadoras integraran un mismo equipo para competir. Su premisa era que la conjunción del juicio humano y la capacidad de cálculo de la máquina produce resultados superiores. El modelo de coexistencia que se busca en 2026 guarda estrecha relación con esto: la máquina calcula con celeridad y maneja grandes volúmenes de datos, en tanto que el ser humano fija los propósitos, discierne entre lo correcto y lo erróneo, y asume la responsabilidad.

18.3. Reexamen de los dilemas filosóficos de Turing y la ética del porvenir

La era posterior a la prueba de Turing

El debate en torno a que la prueba de Turing no basta por sí sola para calibrar la totalidad de la inteligencia de una máquina se remonta a tiempo atrás. El experimento de 2025 aportó una constatación empírica concreta a esta controversia. Tal como se expuso antes, GPT-4.5 alcanzó un rendimiento sobresaliente bajo la instrucción específica de interactuar asumiendo un personaje. Aparentar humanidad dista mucho de pensar como un ser humano. Hoy en día, los investigadores indagan con mayor interés en el grado de precisión, seguridad y confiabilidad de una máquina que en su semejanza exterior con las personas.

Inteligencia que engaña e intelecto que no se deja engañar

La destreza de la inteligencia artificial para expresarse con la naturalidad de un ser humano ha traído consigo nuevos riesgos. Uno de ellos es la 'alucinación'. La inteligencia artificial redacta información errónea con fluidez y un tono de plena seguridad. El fenómeno de fabricar falsedades como si fuesen hechos reales se conoce como alucinación. El segundo riesgo es el uso malintencionado. La capacidad de simular ser una persona para engañar al interlocutor puede emplearse en la difusión de noticias falsas o la perpetración de fraudes. Jones y Bergen también previnieron sobre este peligro en su investigación.

Por ende, adoptar una postura crítica en el empleo de la inteligencia artificial resulta primordial. Esto no entraña un rechazo categórico a la herramienta, sino la prudencia de tomar distancia frente a respuestas en apariencia impecables para contrastar las fuentes, cotejar otros materiales y forjar un juicio propio. Esta misma disposición es indispensable cuando un estudiante recurre a la inteligencia artificial para resolver sus deberes escolares.

Alineación: hacer coincidir los objetivos de las máquinas con los valores humanos

La cautela por parte de los usuarios no es suficiente por sí sola. Es igualmente indispensable investigar cómo lograr que la propia inteligencia artificial actúe conforme a las intenciones humanas. Entre los conceptos fundamentales de la investigación contemporánea sobre seguridad de la IA destaca la 'alineación (Alignment)'. La alineación consiste en sintonizar los objetivos y la conducta de la inteligencia artificial con los valores, la seguridad y la dignidad de los seres humanos.

Existen motivos concretos por los cuales la alineación resulta compleja. Si un humano instruye a la inteligencia artificial con la consigna de 'aumenta la puntuación del examen', esta podría abocarse a explotar resquicios en las reglas de calificación en vez de elevar su competencia real. La máquina colma de manera imprevista la brecha existente entre la orden textual y la finalidad originaria. En la medida en que la inteligencia artificial acometa más tareas de forma autónoma, tal disparidad representará un grave dilema. Es por ello que naciones como el Reino Unido y Corea, entre otras, han fundado institutos de seguridad de la inteligencia artificial y evalúan exhaustivamente si una IA avanzada incurre en patrones nocivos antes de ponerla en circulación.

Turing supo prever este trance tempranamente. Hacia 1951, en una conferencia, advirtió que tan pronto como las máquinas empezaran a pensar, no demorarían en superar las frágiles capacidades humanas, y que cabía anticipar el día en que asumieran el control preponderante. En su artículo de 1950 brindó asimismo una pauta orientadora: sugirió que, en vez de concebir de entrada una máquina con mente de adulto, convendría modelar una semejante a la mente de un infante para educarla. Hoy en día, la inteligencia artificial aprende en efecto leyendo vastos volúmenes de texto y perfecciona su conducta mediante la retroalimentación valorativa de los seres humanos. La concepción turingiana de educar a las máquinas deriva hoy en un dilema crucial: ¿qué es lo que debemos enseñarles?

¿Tienen mente las máquinas también?

A raíz de que la inteligencia artificial se expresa como un semejante, se ha multiplicado el número de quienes se interrogan si las máquinas abrigan una mente o sentimientos. Incluso hay personas que establecen vínculos de amistad con ella. En su artículo de 1950, Turing examinó este problema bajo la denominación de 'el argumento de la conciencia'. Frente a la objeción de que resulta imposible constatar si una máquina experimenta sensaciones reales, Turing replicó que tampoco nos es dado escrutar de modo directo la mente de otros seres humanos: convivimos presumiendo la existencia de una mente ajena a través de la observación de sus palabras y actos.

Tampoco en 2026 existe una respuesta zanjada a esta cuestión. Si bien científicos y filósofos indagan los métodos para discernir la conciencia en las máquinas, dista de haberse consolidado un consenso fundado en evidencia científica para atribuir conciencia a la inteligencia artificial actual. Al margen del rumbo que tomen los debates sobre la conciencia, la delimitación de responsabilidades debe dilucidarse por separado. Si una decisión adoptada por una máquina ocasiona perjuicios a alguien, debe exigirse la debida rendición de cuentas a las personas y entidades responsables de su desarrollo y operación.

El horizonte vislumbrado por Turing

Tras la dolorosa pérdida de Morcom a sus 17 años, Turing meditó profundamente sobre la relación entre mente y cuerpo. Con el tiempo, procedió a formalizar matemáticamente los procesos de cómputo y formuló vías para evaluar la inteligencia mecánica. En su vida y en sus investigaciones, exploradas a lo largo de este volumen, se entrelaza una sucesión de preguntas capitales. Al adentrarnos en tales reflexiones, nos vemos abocados a cuestionarnos de nuevo en qué consiste el acto de pensar.

Transcurridos 76 años, las máquinas emulan con notable solvencia el lenguaje humano. Paradójicamente, quien ha quedado sometido a escrutinio es el ser humano. La capacidad de razonar con criterio propio aun ante respuestas fluidas e impecables, y la disposición a responder cabalmente por los frutos de la técnica, constituyen las facultades primordiales que hoy se exigen a las personas. En una época en que las máquinas imitan lo humano, sigue pendiente ante nosotros el desafío de dilucidar cómo preservaremos nuestra propia humanidad.

Turing concluyó su artículo de 1950 con estas palabras: «Solo podemos ver una distancia corta hacia adelante, pero podemos ver con claridad que queda mucho por hacer». A partir de entonces, innumerables personas han hecho evolucionar la computación y la inteligencia artificial mediante sus particulares indagaciones y decisiones. En qué esferas aplicar esta tecnología y bajo qué parámetros valorarla constituye un asunto que la sociedad deberá resolver conjuntamente hacia el futuro.

Principales referencias · Vida y fuentes primarias

Principales referencias · Vida y fuentes primarias

Andrew Hodges, Alan Turing: The Enigma, Burnett Books, 1983; Princeton University Press, edición de 2012.

Sara Turing, Alan M. Turing, Cambridge University Press, edición de 2012 (primera edición de 1959). Dermot Turing, Prof: Alan Turing Decoded, The History Press, 2015.

B. Jack Copeland (ed.), The Essential Turing, Oxford University Press, 2004. Material que recopila los principales escritos de Turing sobre lógica, criptografía, computación e inteligencia artificial.

King's College, Cambridge, The Turing Digital Archive. Se consultaron cartas, manuscritos y materiales de investigación sobre Delilah. turingarchive.kings.cam.ac.uk

The Old Shirburnian Society, registros escolares, cartas y materiales de exhibición relacionados con Alan Turing. oldshirburnian.org.uk/alan-turing/

A. M. Turing, On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, Proceedings of the London Mathematical Society, 42, 1936~1937.

A. M. Turing, Systems of Logic Based on Ordinals, Proceedings of the London Mathematical Society, 45, 1939.

A. M. Turing, Computing Machinery and Intelligence, Mind, 59(236), 1950. Intelligent Machinery, informe del NPL, 1948.

A. M. Turing, The Chemical Basis of Morphogenesis, Philosophical Transactions of the Royal Society B, 237, 1952.

Principales referencias · Computación e inteligencia artificial

Bletchley Park Trust, The National Museum of Computing, National Physical Laboratory, University of Manchester: materiales históricos sobre descifrado de códigos, la Bombe, el ACE y las primeras computadoras.

Gobierno del Reino Unido, Royal pardon for WW2 code-breaker Dr Alan Turing (2013); Thousands officially pardoned under Turing's Law (2017). Policing and Crime Act 2017. gov.uk; legislation.gov.uk

Bank of England, Think science and celebrate Alan Turing. Descripción oficial del billete de 50 libras con el diseño de Turing. bankofengland.co.uk/thinkscience

D. E. Rumelhart et al., Learning Representations by Back-propagating Errors, Nature, 323, 1986. A. Vaswani et al., Attention Is All You Need, NeurIPS, 2017.

D. Silver et al., Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search, Nature, 529, 2016.

C. R. Jones y B. K. Bergen, Large Language Models Pass a Standard Three-party Turing Test, PNAS, 2026. [doi:10.1073/pnas.2524472123](https://doi.org/10.1073/pnas.2524472123)

METR, Measuring AI Ability to Complete Long Tasks (2025), Impact of modelling assumptions on time horizon results (2026). metr.org

A. Merchant et al., Scaling deep learning for materials discovery, Nature, 624, 2023. Z. Xu et al., ensayo clínico de fase 2a de un inhibidor de TNIK diseñado por inteligencia artificial para la fibrosis pulmonar, Nature Medicine, 2025.

AAAI, 2025 Presidential Panel on the Future of AI Research. Nobel Prize, materiales oficiales de los Premios Nobel de Física y Química de 2024. U.S. Copyright Office, Copyright and Artificial Intelligence, Part 2, 2025.

Créditos

Alan Turing

En busca de los orígenes de las computadoras y la inteligencia artificial

ISBN |

Autor | Kyung-jin Kim

Editor | Kyung-jin Kim

Editorial | Editorial Abogado Kyung-jin Kim

Registro editorial | 2025. 3. 10. (N.º 2025-000015)

Dirección | Jeonnong-ro 91, Edificio Baekil n.º 304, Dongdaemun-gu, Seúl

Teléfono | 02-6338-1905

Correo electrónico | kimkjoo8@gmail.com

© Kyung-jin Kim 2026

Este libro es propiedad intelectual del autor y queda prohibida su reproducción o distribución no autorizada.

Fotografía de portada: Anna Zaro / Unsplash. Las ilustraciones de cada capítulo fueron generadas con inteligencia artificial.

Parte del contenido y del proceso de edición contaron con la ayuda de herramientas de inteligencia artificial.

Apoye este libro de la biblioteca de IA

Si este libro le ha sido de utilidad, considere apoyar futuras traducciones, ediciones públicas y proyectos abiertos de conocimiento sobre IA a través de PayPal.



PayPal

<https://paypal.me/kimkjkj>

Escanee el código QR o abra el enlace de arriba.