

1

1953

Si es tan fácil crear organismos vivos, ¿por qué no crea unos cuantos usted mismo?

NILS AALL BARRICELLI, 1953

A las 22.38 del 3 de marzo de 1953, en un edificio de ladrillo de una sola planta situado al final de la calle Olden Lane, en Princeton, Nueva Jersey, el biólogo y matemático italo-noruego Nils Aall Barricelli inoculó a un universo digital de 5 kilobytes una serie de números aleatorios generados extrayendo cartas al azar de una baraja desordenada. «Se están realizando un conjunto de experimentos numéricos con el objetivo de verificar la posibilidad de que tenga lugar una evolución similar a la de los de organismos vivos en un universo creado artificialmente», anunció.¹

Un universo digital —ya sea de 5 kilobytes o de toda internet— está integrado por dos tipos de bits: las diferencias de espacio y las diferencias de tiempo. Los ordenadores digitales traducen de una a otra estas dos formas de información —estructura y secuencia— según unas reglas definidas. Los bits que se encarnan en estructura (variables en el espacio, invariables en el tiempo) los percibimos como memoria, y los bits que se encarnan en secuencia (variables en el tiempo, invariables en el espacio) los percibimos como código. Las puertas son las intersecciones donde los bits atraviesan ambos mundos en los momentos de transición de un instante al siguiente.

El término *bit* (la contracción —en 40 bits— de *binary digit*, «dígito binario») fue acuñado por el estadístico John W. Tukey poco después de que se uniera al proyecto de Von Neumann en noviembre de 1945. La existencia de una unidad fundamental de informa-

ción comunicable, que representaba una única distinción entre dos alternativas, fue rigurosamente definida por el padre de la teoría de la información, Claude Shannon, en su obra de 1945, entonces secreta, *Mathematical Theory of Cryptography*, posteriormente ampliada en *Mathematical Theory of Communication*, de 1948.* «Cualquier diferencia que marque una diferencia»: así fue como el cibernético Gregory Bateson tradujo la definición de Shannon en términos más informales.² Para un ordenador digital, la única «diferencia que marca una diferencia» es la que existe entre un cero y un uno.

Que bastaban dos símbolos para codificar toda la comunicación era algo que ya había sido establecido por Francis Bacon en 1623. «La transposición de dos letras en cinco emplazamientos bastará para dar 32 diferencias [y] por este arte se abre un camino por el que un hombre puede expresar y señalar las intenciones de su mente, a un lugar situado a cualquier distancia, mediante objetos ... capaces solo de una doble diferencia», escribió, antes de dar ejemplos de cómo tal codificación binaria podía transmitirse a la velocidad del papel, la velocidad del sonido o la velocidad de la luz.³

Que el cero y el uno bastaban para la lógica, además de la aritmética, fue establecido a su vez por Gottfried Wilhelm Leibniz en 1679, siguiendo la pauta señalada por Thomas Hobbes en su *Computatio sive logica* («Cálculo, o Lógica»), de 1656: «Por raciocinio entiendo *cálculo* —había anunciado Hobbes—. Ahora bien, calcular es, o recabar la suma de muchas cosas que se añaden, o saber qué queda cuando una cosa se resta de otra. *Raciocinio* es, pues, lo mismo que *adición* y *sustracción*; y si alguien añade *multiplicación* y *división*, yo no me opondré a ello, viendo ... que todo raciocinio está comprendido en estas dos operaciones de la mente».⁴ El nuevo ordenador, pese a todas sus capacidades, no era más que una máquina de sumar muy rápida, con una memoria de 40.960 bits.

En marzo de 1953 había 53 kilobytes de memoria de acceso aleatorio de alta velocidad en todo el planeta Tierra.⁵ Cinco de ellos estaban al final de Olden Lane, treinta y dos se distribuían entre los

* Hay trad. cast.: *Teoría matemática de la comunicación*, Forja, Madrid, 1981. (N. del T.)

ocho clones ya completados del ordenador del Instituto de Estudios Avanzados, y los dieciséis restantes se hallaban desigualmente repartidos entre otra media docena de máquinas. Los datos, y los pocos programas rudimentarios que existían, se intercambiaban a la velocidad de las tarjetas perforadas y la cinta de papel. Cada isla de este nuevo archipiélago constituía un universo en sí misma.

En 1936, el lógico Alan Turing había formalizado las capacidades (y las limitaciones) de los ordenadores digitales al dar una descripción precisa de un tipo de dispositivos (incluido un ser humano obediente) capaces de leer, escribir, recordar y borrar marcas en un suministro ilimitado de cinta. Esas «máquinas de Turing» podían traducir bidireccionalmente de uno a otro los bits encarnados como estructura (en el espacio) y los bits codificados como secuencias (en el tiempo). Turing demostró, así, la existencia de una «máquina computadora universal» que, dados el tiempo suficiente, la cinta suficiente y una descripción precisa, podía emular el comportamiento de cualquier otra máquina computadora. Los resultados son independientes de si las instrucciones son ejecutadas por pelotas de tenis o por electrones, y de si la memoria se almacena en semiconductores o en cinta de papel. «El que sea digital debería resultar de mayor interés que el que sea electrónica», señaló Turing.⁶

Von Neumann intentó construir una máquina universal de Turing que operara a velocidades electrónicas. Su base era una matriz de 32 por 32 por 40 bits de memoria de acceso aleatorio de alta velocidad, el núcleo de todo lo digital desde entonces. «Acceso aleatorio» significaba que todas las posiciones de memoria individuales —que en su conjunto constituían el «estado mental» interno de la máquina— eran igualmente accesibles en cualquier momento dado; por su parte, «alta velocidad» significaba que la memoria era accesible a la velocidad de la luz, no a la del sonido. Fue la supresión de esta restricción lo que desató los poderes de la —por lo demás nada práctica— máquina universal de Turing.

En 1945 existía una amplia disponibilidad de componentes electrónicos, pero el comportamiento digital era la excepción a la regla. Las imágenes se televisaban escaneándolas en líneas, no dividiéndolas en bits. El radar mostraba una imagen analógica de los ecos reco-

gidos por el barrido continuo de un haz de microondas. Los sistemas de alta fidelidad llenaban las salas de estar de la posguerra con el calor de discos analógicos grabados sobre vinilo sin que se produjera el menor retroceso en favor de un enfoque digital. Las tecnologías digitales —el teletipo, el alfabeto Morse, las máquinas de contabilidad de tarjetas perforadas— se percibían como anticuadas, lentas y poco fiables. Lo analógico gobernaba el mundo.

El grupo del IAS logró construir una memoria de acceso aleatorio totalmente electrónica adaptando osciloscopios analógicos de tubos de rayos catódicos: lámparas de cristal en las que se había hecho el vacío y que tenían más o menos el tamaño y la forma de una botella de champán, pero con las paredes tan delgadas como una copa de flauta. El extremo ancho de cada tubo formaba una pantalla circular con un revestimiento interno fluorescente, mientras que en el extremo estrecho había un cañón de alto voltaje que emitía un flujo de electrones cuyo objetivo podía ser desviado por un campo electromagnético biaxial. El tubo de rayos catódicos (o CRT, por sus siglas en inglés) era una forma de ordenador analógico; variando los voltajes de las bobinas de deflexión se variaba la trayectoria trazada por el haz de electrones. El CRT, especialmente en su encarnación como osciloscopio, podía utilizarse para sumar, restar, multiplicar y dividir señales, y los resultados se mostraban directamente como una función de la amplitud de la deflexión y su frecuencia en el tiempo. El universo digital tomó forma a partir de estos principios analógicos.

Aplicando lo que habían aprendido con el manejo del radar, la criptografía y el control del fuego antiaéreo durante la guerra, los ingenieros de Von Neumann fueron capaces de controlar los circuitos de deflexión mediante impulsos codificados y dividir la cara del tubo en una matriz de 32 por 32 posiciones numéricamente direccionables a las que se podía apuntar individualmente el haz de electrones. Dado que la carga eléctrica resultante permanecía en la superficie de cristal revestido durante una fracción de segundo y podía ser refrescada periódicamente, cada tubo, de unos 12 centímetros de diámetro, podía utilizarse para almacenar 1.024 bits de información, siendo el estado de cualquier posición específica accesible en cual-

quier momento. Se había iniciado la transición de lo analógico a lo digital.

El ordenador del IAS incorporaba un banco de 40 tubos de rayos catódicos de memoria, cuyas direcciones de memoria se asignaban como si un recepcionista diera números de habitación similares a 40 huéspedes a la vez en un hotel de 40 plantas. Los códigos proliferaron en este universo aprovechando el principio arquitectónico de que un par de coordenadas de 5 bits ($2^5 = 32$) identificaban únicamente una de las 1.024 posiciones de memoria que contenían una cadena (o «palabra») de 40 bits. En 24 microsegundos podía recuperarse cualquier secuencia concreta de 40 bits de código. Esos 40 bits podían incluir no solo datos (números que significan cosas), sino también instrucciones ejecutables (números que hacen cosas), incluidas instrucciones para modificar las instrucciones existentes, o para transferir el control a otra posición y seguir nuevas instrucciones desde allí.

Dado que un código de operación de 10 bits, combinado con 10 bits que especificaran una dirección de memoria, devolvía una secuencia de 40 bits, el resultado era una reacción en cadena, análoga a la fisión de neutrones «dos por uno» que tenía lugar en el corazón de una bomba atómica. A consecuencia de ello se desataron todos los infiernos: la memoria de acceso aleatorio permitió al mundo de las máquinas acceder a los poderes de los números, y permitió al mundo de los números acceder a los poderes de las máquinas.

La sencilla estructura de bloques de hormigón del edificio que alojaba el ordenador había sido financiada conjuntamente por el Departamento de Armamento del ejército y la Comisión de Energía Atómica (AEC, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. Para compatibilizar los términos del contrato del gobierno, en que se especificaba una estructura temporal, con los sentimientos de la comunidad vecina, el Instituto de Estudios Avanzados desembolsó 9.000 dólares adicionales (equivalentes a unos 100.000 dólares actuales) para rematar el edificio revistiéndolo con una capa de ladrillo.

Había estrechos vínculos entre el IAS y la AEC. J. Robert Oppenheimer era a la vez director del IAS y presidente del Comité Asesor General de la AEC. Lewis Strauss ocupaba la presidencia de

la AEC al tiempo que presidía también la Junta Directiva del IAS. La despreocupada mezcla de ciencia e ingeniería armamentística que prosperara en Los Álamos durante la guerra se había trasplantado ahora a Princeton bajo los auspicios de la AEC. «El contrato militar dispone la supervisión general del Laboratorio de Investigación Balística del Ejército —se señalaba el 1 de noviembre de 1949—, mientras que la AEC dispone la supervisión de Von Neumann.»⁷ Mientras el ordenador estuviese disponible para cálculos armamentísticos, Von Neumann podría dedicar el tiempo restante de la máquina a lo que quisiera.

En 1953, Robert Oppenheimer y Lewis Strauss —el artífice del nombramiento del primero como director del Instituto en 1947, pero que en 1954 se volvería contra él— mantenían todavía una relación amistosa. «Hay una caja de Château Lascombes esperándole con mis saludos en Sherry Wine & Spirits Co., en el 679 de Madison Avenue (cerca de la calle 61) —informaba Strauss a Oppenheimer el 10 de abril de 1953—. Espero que a usted y a Kitty les guste.»⁸

«Recogimos el vino hace dos días, y esa noche abrimos una botella —contestaba Oppenheimer el 22 de abril—. Era muy bueno, y Kitty y yo le damos las gracias, no solo por su amabilidad, sino por la gran satisfacción que nos ha dado.»⁹ Robert y Kitty habían bebido del cáliz envenenado. Un año después, el hombre que tanto había hecho para poner los poderes de la energía atómica en manos del gobierno estadounidense, pero que luego se había vuelto contra sus valedores oponiéndose al desarrollo de la bomba de hidrógeno, sería despojado de sus acreditaciones de seguridad tras una dramática audiencia ante la Junta de Seguridad del Personal de la Comisión de Energía Atómica.

Mientras el ordenador estaba todavía en construcción, un reducido equipo de Los Álamos, dirigido por Nicholas Metropolis y Stanley Frankel, se instaló discretamente en el Instituto. Los miembros del IAS se dividían en dos tipos: miembros permanentes, que eran nombrados con carácter vitalicio por decisión de todo el cuerpo docente, y miembros visitantes, que eran invitados por cada facultad concreta, normalmente durante un año o menos. Metropolis y Frankel no pertenecían a ninguno de los grupos, y simplemente habían aparecido como por arte de magia. «Lo único que me dijeron fue que lo

que Metropolis había venido a hacer era calcular la viabilidad de una bomba de fusión —recuerda Jack Rosenberg, un ingeniero que había diseñado, construido e instalado un sistema de audio de alta fidelidad en casa de Albert Einstein para su septuagésimo cumpleaños, en 1949, utilizando algunos de los tubos de vacío y otras piezas sobrantes del proyecto del ordenador—. Eso fue todo lo que supe. Y entonces me sentí sucio. Einstein dijo: “Eso es exactamente para lo que pensaba que iban a usarlo”. Él siempre iba por delante.»¹⁰

Se bautizó a la nueva máquina con el nombre de MANIAC (Mathematical and Numerical Integrator and Computer, «Integrador y Computador Matemático y Numérico»), y en el verano de 1951 fue sometida a su primera prueba, con un cálculo termonuclear que duró sesenta días ininterrumpidos. Los resultados se vieron confirmados por dos enormes explosiones llevadas a cabo en el sur del Pacífico: *Ivy Mike*, que liberó el equivalente a 10,4 millones de toneladas de TNT (megatonnes) en el atolón de Enewetak el 1 de noviembre de 1952, y *Castle Bravo*, que liberó 15 megatonnes en el atolón de Bikini el 28 de febrero de 1954.

El de 1953 fue un año intermedio de frenéticos preparativos. De las once pruebas nucleares —que liberaron un total de 252 kilotonnes— realizadas en el Campo de Pruebas de Nevada en 1953, la mayoría aspiraban no a tratar de producir explosiones grandes y espectaculares, sino a entender cómo podían adaptarse los efectos de explosiones nucleares más modestas para desencadenar una reacción termonuclear que diera lugar a una bomba de hidrógeno viable.

Ivy Mike, alimentada por 82 toneladas de deuterio líquido, refrigerado a -250°C en un tanque del tamaño de un vagón de ferrocarril, demostraba una prueba de concepto, mientras que *Castle Bravo*, alimentada por deuterio de litio sólido, representaba un arma desplegable que podría ser lanzada en cuestión de horas por un B-52. Fue Von Neumann, a comienzos de 1953, quien hizo ver a la fuerza aérea estadounidense que los cohetes se estaban volviendo cada vez más grandes al tiempo que las bombas de hidrógeno se estaban volviendo cada vez más pequeñas. El siguiente paso sería el lanzamiento en cuestión de minutos.

Los estadounidenses tenían bombas más pequeñas, pero los rusos

tenían cohetes más grandes. Representando gráficamente el creciente tamaño de los cohetes frente al decreciente tamaño de las ojivas, Von Neumann mostró que la intersección de ambos, que se traducía en un misil balístico intercontinental —una posibilidad a la que él se refería como «armas nucleares en la que se espera que sea su forma más brutal»—, podía producirse antes en la Unión Soviética.¹¹ La fuerza aérea, a instancias de Trevor Gardner y Bernard Schriever, creó un Comité de Evaluación de Misiles Estratégicos presidido por el propio Von Neumann, y el programa Atlas ICBM (por las siglas en inglés de «misil balístico intercontinental»), que había estado renqueando desde 1946, empezó a despegar. El año 1953 fue el primero en el que se gastaron más de un millón de dólares en el desarrollo de misiles teledirigidos por parte de Estados Unidos. Sin embargo, por entonces «teledirigido» no implicaba el nivel de precisión que hoy damos por sentado. «Una vez lanzado, lo único que sabíamos era sobre qué ciudad iba a caer», respondió Von Neumann al vicepresidente estadounidense en 1955.¹²

Las simulaciones numéricas eran esenciales para el diseño de armas que fueran, en palabras de Oppenheimer, «singularmente inmunes a cualquier forma de planteamiento experimental». Cuando Nils Barricelli llegó a Princeton, en 1953, acababa de completarse un extenso cálculo termonuclear, y había otro en marcha. Por regla general, el ordenador se ponía al servicio del grupo de Los Álamos, dirigido por Foster y Cerda Evans, durante la noche. El 20 de marzo se acordó que «durante la ejecución del problema de Evans no habría objeción alguna a utilizarlo un tiempo los sábados y domingos en lugar de hacerlo desde la medianoche hasta las ocho de la mañana».¹³ Barricelli tuvo que dar origen a su universo numérico introduciéndolo con calzador entre cálculos de bombas, aprovechando cualquier momento que quedara libre en las últimas horas de la noche y las primeras de la mañana.

La noche del 3 de marzo de 1953, cuando los organismos numéricos de Barricelli fueron liberados por primera vez en la jungla computacional, Iósif Stalin se sumía en un coma en Moscú a consecuencia de una apoplejía. Moriría dos días después, cinco meses antes de poder presenciar la primera prueba de una bomba de hidrógeno soviética en Semipalatinsk. Nadie sabía quién o qué seguiría a

Stalin, pero Lavrenti Beria, el director de la policía secreta (NKVD) y supervisor del programa de armas nucleares soviético, era su aparente heredero, y la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos optó por temerse lo peor. Después de que el «problema de simbiosis» de Barricelli se ejecutara sin contratiempos durante toda la noche, la mañana del 4 de marzo aparece anotado en el registro de actividad de la máquina: «Pasa a la onda expansiva»; más tarde, ese mismo día, en el registro simplemente pone «pasa a», seguido de un bosquejo a lápiz de una nube en forma de hongo.

El año 1953 marcó el alba de tres revoluciones tecnológicas: las de las armas termonucleares, los ordenadores de programa almacenado y la dilucidación de cómo la vida almacena sus propias instrucciones como secuencias de ADN. El 2 de abril, James Watson y Francis Crick enviaron un trabajo titulado «Estructura del ácido desoxirribonucleico» a la revista *Nature*, donde señalaban que la estructura de doble hélice «sugiere un posible mecanismo de copia del material genético». Atisbaban ya la codificación de dos bits por cada par de bases mediante la cual las células vivas leen, escriben, almacenan y reproducen información genética como secuencias de nucleótidos que identificamos como A, T, G y C: «Si la adenina constituye un miembro de un par, en cualquiera de las cadenas, entonces, sobre la base de tales presupuestos, el otro miembro debe ser la timina; y lo mismo para la guanina y la citosina —explicaban—. Si solo pueden formarse determinados pares específicos de bases, se sigue que, dada la secuencia de bases de una cadena, la secuencia de la otra cadena resulta automáticamente determinada».¹⁴

El mecanismo de traducción entre secuencia y estructura en biología y el mecanismo de traducción entre secuencia y estructura en tecnología parecían llevar caminos opuestos. Los organismos biológicos habían aprendido a sobrevivir en un ambiente ruidoso, analógico, repitiéndose a sí mismos, una vez por generación, a través de una fase digital de corrección de errores, del mismo modo en que se utilizan estaciones repetidoras para transportar mensajes inteligibles a través de cables submarinos donde se introduce ruido. La transición de lo digital una vez por generación a lo digital durante todo el tiempo se inició en 1953.

La carrera consistía en empezar a decodificar procesos vivientes desde arriba. Pero al sembrar un universo digital vacío de instrucciones capaces de modificarse a sí mismas, dimos también los primeros pasos hacia la codificación de procesos vivientes desde abajo. «El mero hecho de que las condiciones especiales prevalecientes en este planeta parezcan favorecer las formas de vida basadas en compuestos organoquímicos, no es ninguna prueba de que no sea posible construir otras formas de vida sobre una base completamente distinta», explicó Barricelli.¹⁵ Así, al nuevo ordenador se le asignaron dos problemas: cómo destruir la vida tal como la conocemos y cómo crear vida de formas desconocidas.

Lo que comenzó como una matriz aislada de 5 kilobytes se expande hoy a la velocidad de más de 2 billones de transistores por segundo (una medida del incremento del procesamiento) y de 5 billones de bits de capacidad de almacenamiento por segundo (una medida del incremento del código).¹⁶ Sin embargo, seguimos afrontando las mismas preguntas que se formularon en 1953. La pregunta de Turing era qué haría falta para que las máquinas empezaran a pensar; la de Von Neumann, qué haría falta para que empezaran a reproducirse.

Cuando el Instituto de Estudios Avanzados aceptó, pese a todas las objeciones, permitir a Von Neumann y su grupo que construyera un ordenador, la inquietud era que el refugio de los matemáticos se viera perturbado por la presencia de los ingenieros. Nadie imaginaba hasta qué punto, por el contrario, la lógica simbólica que había sido el coto privado de los matemáticos desataría los poderes de las secuencias codificadas sobre el mundo. «Por entonces todos estábamos tan ocupados haciendo lo que hacíamos que no pensamos demasiado en esa enorme explosión que podía producirse», contó Willis Ware. ¿Fue dicha explosión un accidente o se provocó de manera deliberada? «Los militares querían ordenadores —explicó Harris Mayer, el físico de Los Álamos que por entonces trabajaba tanto con John von Neumann como con Edward Teller—. Los militares tenían la necesidad y tenían el dinero, pero no tenían el genio. Y Johnny Von Neumann era el genio. En cuanto se dio cuenta de que necesitábamos un ordenador para hacer los cálculos de la bomba H, creo que Johnny tuvo todo eso en mente.»¹⁷