

Reseña

La reveladora historia de cómo surgió el universo digital tras la segunda guerra mundial. «Es posible inventar una sola máquina que pueda utilizarse para computar cualquier secuencia computable», anunció en 1936 un joven Alan Turing de veinticuatro años. En los años 40 y 50 un reducido grupo de hombres y mujeres, liderado por John von Neumann, se reunió en Princeton, New Jersey, para comenzar la construcción de una de los primeros ordenadores que materializaría la visión de Alan Turing de una máquina universal. Los códigos generados en ese embrión de universo de 5 kilobytes (menos memoria de lo que requiere un solo icono en la pantalla de un ordenador actual) rompieron la distinción entre números que significan cosas y números que hacen cosas, y nuestro universo cambió para siempre. La catedral de Turing es la historia de la invención más constructiva del siglo XX, el ordenador digital, de quiénes y cómo la crearon. Un relato histórico y profético que nos cuenta cómo el código logró conquistar el mundo y se aventura a plantear el futuro del universo digital.

No se hizo para quienes venden aceite o sardinas...

G. W. LEIBNIZ

* * * *

Prefacio

La solución de la fuente puntual

Estoy pensando en algo mucho más importante que las bombas. Estoy pensando en computadores.

JOHN VON NEUMANN, 1946

Hay dos clases de mitos en torno a la creación: aquellos en los que la vida surge del barro y aquellos en los que cae del cielo. En el mito de la creación que aquí nos ocupa, los ordenadores surgieron del barro y el código cayó del cielo.

A finales de 1945, en el Instituto de Estudios Avanzados (IAS, por sus siglas en inglés) de Princeton, Nueva Jersey, el matemático húngaro-estadounidense John von Neumann reunió un pequeño grupo de ingenieros para empezar a diseñar, construir y programar un ordenador digital electrónico, con 5 kilobytes de almacenamiento, cuya atención podía desplazarse en 24 microsegundos de una posición de memoria a la siguiente. El origen de todo el universo digital puede situarse directamente en este núcleo de 32 por 32 por 40 bits, menos memoria que la que actualmente se asigna a mostrar un solo icono en la pantalla de un ordenador moderno.

El proyecto de Von Neumann era la materialización física de la máquina universal de Alan Turing, un constructo teórico inventado en 1936. No fue este el primer ordenador; ni siquiera fue el segundo, ni el tercero. Fue, sin embargo, uno de los primeros que hicieron pleno uso de una matriz de almacenamiento de acceso aleatorio de alta velocidad, y se convertiría en la máquina cuya codificación sería más ampliamente replicada y cuya arquitectura lógica sería más ampliamente reproducida. El ordenador de programa almacenado, tal como fue concebido por Alan Turing y construido por John von Neumann, vino a romper la distinción entre números que

significan cosas y números que *hacen* cosas. Nuestro universo ya nunca volvería a ser el mismo.

Trabajando fuera del ámbito de la industria, rompiendo las reglas académicas y dependiendo en gran medida del apoyo económico del gobierno estadounidense, una docena de ingenieros de entre veinte y cuarenta años diseñaron y construyeron el ordenador de Von Neumann por menos de un millón de dólares en menos de cinco años. «Él estuvo en el lugar adecuado y en el momento adecuado, y tenía las conexiones adecuadas y la idea adecuada —recordaba Willis Ware, la cuarta persona a la que se contrató para unirse al equipo de ingenieros—, dejando de lado el problema, que probablemente nunca se resolverá, de quién fue realmente el autor de las ideas.» [\[1\]](#)

Cuando la Segunda Guerra Mundial se acercaba a su fin, los científicos que habían construido la bomba atómica en Los Alamos se preguntaron: «¿Y ahora qué?». Algunos de ellos, incluido a Richard Feynman, juraron no volver a tener jamás nada que ver con armas nucleares o secretos militares. Otros, entre ellos Edward Teller y John von Neumann, ansiaban desarrollar armas nucleares aún más avanzadas, sobre todo la denominada «superbomba», la bomba de hidrógeno. Justo antes del amanecer del 16 de julio de 1945, el desierto de Nuevo México se iluminó a causa de una explosión «más brillante que mil soles». Ocho años y medio después, una explosión mil veces más potente iluminó el cielo sobre el atolón de Bikini. La carrera por construir la bomba de hidrógeno se vio acelerada por el deseo de Von Neumann de construir un ordenador, y, a su vez, el impulso por construir el ordenador de Von Neumann se vio acelerado por la carrera para construir una bomba de hidrógeno.

Los ordenadores eran esenciales para desencadenar las explosiones nucleares, y también para entender qué ocurre después. En «La solución de la fuente puntual», un informe de 1947 de Los Álamos sobre las ondas de choque producidas por las explosiones nucleares, Von Neumann explicaba

que «para las explosiones muy violentas... puede estar justificado tratar el área original, central, de alta presión, como un punto». ^[2] Esto se aproximaba lo bastante a la realidad física de una explosión nuclear como para permitir algunas de las primeras predicciones útiles de los efectos de dichas armas.

Los ordenadores ponían a prueba las bombas, y las bombas ponían a prueba los ordenadores. La simulación numérica en ordenadores de reacciones en cadena inició una reacción en cadena en los propios ordenadores, donde máquinas y códigos proliferaron de forma tan explosiva como los fenómenos que habían sido diseñados para ayudarnos a entender. No es casualidad que la más destructiva y la más constructiva de las invenciones humanas aparecieran exactamente al mismo tiempo. Solo la inteligencia colectiva de los ordenadores podía salvarnos de los poderes destructivos de las armas que estos nos habían permitido inventar.

El modelo computacional universal de Turing era unidimensional, una serie de símbolos codificados en una cinta. En cambio, la materialización que hizo Von Neumann del modelo de Turing era bidimensional, la matriz de direcciones que subyace a todos los ordenadores que se utilizan hoy. Con la introducción de internet, el paisaje se volvió tridimensional, permitiendo la evolución de códigos metazoarios simultáneos distribuidos en múltiples servidores.

¿Y dónde encaja aquí el tiempo? El tiempo en el universo digital y el tiempo en nuestro universo están gobernados por relojes completamente distintos. En nuestro universo, el tiempo es un continuo. En un universo digital, el tiempo (T) es un número cuantificable de pasos discretos y secuenciales. Un universo digital es finito al principio, cuando $T = 0$, y al final, si T se detiene. Incluso en un universo perfectamente determinista, no hay ningún método coherente para predecir por adelantado el final. Para un observador de nuestro universo, el universo digital parece acelerarse. Para un observador del universo digital, nuestro universo parece ralentizarse.

Es imposible predecir hacia dónde va el universo digital, pero es posible entender cómo empezó. El origen de la primera matriz de almacenamiento de acceso aleatorio totalmente electrónica, y de la propagación de códigos que esta generó, se halla lo más cerca de una fuente puntual que cualquier aproximación permite.

* * * *

Agradecimientos

En el principio fue la línea de comandos

La intuición de verdad puede no deleitar tanto como la Verdad que se persigue...

SIR ROBERT SOUTHWELL a WILLIAM PETTY, 1687

En 1956, a la edad de tres años, me dirigía a casa con mi padre, el físico Freeman Dyson, tras salir de su despacho en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, Nueva Jersey, cuando me encontré una correa de ventilador rota en la calle. Le pregunté a mi padre qué era. «Es un pedazo del sol», me respondió.

Mi padre trabajaba en teoría de campos bajo el patrocinio de Hans Bethe, que durante la guerra había sido el jefe de la División Teórica en Los Alamos y que, al aceptar el Premio Nobel por el descubrimiento del ciclo CNO que alimenta a las estrellas, explicó que estas «tienen un ciclo vital muy parecido al de los animales. Nacen, crecen, pasan por un desarrollo interno definido y finalmente mueren, devolviendo el material del que están hechos para que puedan vivir nuevas estrellas». ^[31] Para un ingeniero, las correas de ventilador existen entre el cigüeñal y la bomba de agua. Para un físico, las correas de ventilador existen, brevemente, en los intervalos entre estrellas.

En el Instituto de Estudios Avanzados había más personas trabajando en mecánica cuántica que en sus propios coches. Con una notable excepción, Julian Bigelow, que llegó al Instituto en 1946 como ingeniero jefe de John von Neumann. Bigelow, que dominaba con soltura la física, las matemáticas y la electrónica, era también un mecánico capaz de explicarle hasta a un niño de tres años cómo funcionaba una correa de ventilador, por qué se rompía y si era de un Ford o de un Chevrolet.

Bigelow, que era un hijo de la Depresión, nunca tiraba nada. El Instituto de Estudios Avanzados, que ocupaba el emplazamiento de una antigua granja (Olden Farm), contaba con un granero grande y vacío, donde se almacenaban piezas y equipamiento sobrantes de la construcción del ordenador de Von Neumann entre balas de heno, gradas de dientes flexibles y otros restos de la actividad laboral de la granja. Yo formaba parte de una pequeña pandilla de niños de entre ocho y diez años que pasábamos nuestro tiempo libre explorando los bosques que rodean el Instituto, y de vez en cuando visitábamos el granero. Unos cuantos rayos de sol perforaban el tejado, atravesando el polvo que levantaban las palomas que revoloteaban por encima de nuestras cabezas huyendo de nosotros.

En varias ocasiones en que hacían falta piezas ya se había hurgado en el alijo de Julian de componentes electrónicos sobrantes de la guerra. Nosotros no teníamos ni idea de lo que eran la mayoría de las cosas que había allí, pero eso no nos impedía desmantelar cualquier cosa que se pudiera desmontar. Sabíamos que Julian Bigelow había construido un ordenador, almacenado en un edificio prohibido a los niños, del mismo modo que sabíamos que Robert Oppenheimer, que vivía en la casa solariega a la que pertenecía el granero, había construido una bomba atómica. En nuestras expediciones a los bosques ignorábamos a los pájaros y los mamíferos, y en cambio buscábamos ranas y tortugas, que podíamos capturar solo con las manos; para nosotros todavía seguía siendo la era de los reptiles. Los dinosaurios de la informática, en cambio, eran de sangre caliente; pero los relés y tubos de vacío que extraíamos de sus restos ya habían perdido su calor vital.

Permaneció en mí una curiosidad imperecedera en torno a las reliquias que habían sido abandonadas en el granero. «Los institutos, como las naciones, probablemente son más felices si no tienen historia», afirmó en 1936 Abraham Flexner, cofundador y primer director del Instituto de Estudios Avanzados. Gracias a esta política del doctor Flexner —mantenida por sus sucesores, incluido Oppenheimer— con respecto a la historia del Instituto en

general, y a la historia del Proyecto de Computador Electrónico en particular, gran parte del material documental que hay detrás de este libro se mantuvo en secreto durante muchos años. «Estoy razonablemente seguro de que no hay nada aquí que pueda interesarle», escribió en 1968 Cari Kaysen, el sucesor de Oppenheimer, en respuesta a una consulta sobre los archivos relativos al proyecto de ordenador de Von Neumann formulada por un profesor de ingeniería eléctrica del MIT. [\[4\]](#)

Gracias al ex director Phillip Griffiths, y con el apoyo de los administradores Charles Simonyi y Marina Von Neumann Whitman, fui invitado a pasar el curso académico 2002-2003 como profesor visitante en el Instituto de Estudios Avanzados, obteniendo acceso a ficheros que en algunos casos no habían visto la luz del día desde 1946. Marcia Tucker, responsable de la Biblioteca de Estudios Históricos y Ciencias Sociales, y Lisa Coats, documentalista, empezaron a trabajar para preservar y organizar los archivos que se conservaban del Proyecto de Computador Electrónico, mientras que Kimberly Jacobsen transcribió miles de páginas de documentos de los que aquí solo aparece una muestra dispersa. Gracias a los esfuerzos del actual director, Peter Goddard, y a una donación de la Fundación Shelby White y León Levy, se ha podido crear un Centro de Documentación permanente en el IAS. Las documentalistas Christine Di Bella y Erica Mosner, y todo el personal del Instituto, en especial Linda Cooper, colaboraron en todos los aspectos, al tiempo que los actuales administradores, sobre todo Jeffrey Bezos, han prestado un estímulo y apoyo constantes.

Muchos de los testigos que aún viven —entre ellos Alice Bigelow, Andrew y Kathleen Booth, Raoul Bott, Martin y Virginia Davis, Akrevoe Kondopria Emmanouilides, Gerald y Thelma Estrin, Benoit Mandelbrot, Harris Mayer, Jack Rosenberg, Atle Selberg, Joseph y Margaret Smagorinsky, Françoise Ulam, Nicholas Vonneumann, Willis Ware y Marina Von Neumann Whitman— dedicaron parte de su tiempo a hablar conmigo. «Le faltan como máximo

unos cinco años para no tener a ningún testigo fidedigno», me advertía Joseph Smagorinsky en 2004.

En 2003, la familia Bigelow me permitió examinar las cajas de papeles que Julian había guardado. En una de ellas, entre informes técnicos de la Oficina de Investigación Naval, hojas de especificaciones de tubos de vacío de la Segunda Guerra Mundial, cartas de la Oficina de Normalización e incluso un manual de mantenimiento del ENIAC con el sello de «RESTRINGIDO», Había una hoja de papel pautado que resultaba evidente que había sido arrugada y tirada a la papelería, y que luego había sido alisada de nuevo y guardada. Estaba doblada sobre uno de los lados, y en la parte superior había una línea de texto escrito a mano que rezaba:

Órdenes: Sea una palabra (40 bd) 2 órdenes, cada orden = C(D)
= Comando (1-10, 21-30) • Dirección (11-20, 31-40)

El uso de la abreviatura *bd* por «dígito binario» (en inglés *binary digit*) data esta hoja de papel en los comienzos del proyecto de Von Neumann, antes de que la abreviatura de *binary digit* pasara a ser *bit*. Era esta, pues, una página del Antiguo Testamento, antes de que Von Neumann trajera el Nuevo.

«En el principio —decía Neal Stephenson— fue la línea de comandos.» Gracias a Neal y a muchos otros que me dieron su apoyo, especialmente aquellas personas e instituciones que me permitieron acceder a sus sótanos, durante los últimos ocho años he pasado una desmesurada cantidad de tiempo sumergido en los diversos estratos de documentos depositados cuando el universo digital tomaba forma. Desde Alex Magoun, de la RCA, hasta Willis Ware, de RAND, pasando por muchos otros guardianes de la memoria institucional —incluidos los *Anales de la Historia de la Informática* y la colección de historia oral del Instituto Charles Babbage—, estoy en deuda con todos aquellos que han guardado archivos que de lo contrario podrían no haberse conservado. A una larga lista de historiadores y biógrafos —entre ellos William Aspray, Armand Borel, Alice Burks, Fio Conway, Jack Copeland,

James Cortada, Martin Davis, Peter Galison, David Alan Grier, Rolf Herken, Andrew Hodges, Norman Macrae, Brian Randell y Jim Siegelman— les debo más de lo que aquí se reconoce. Todos los libros deben su existencia a otros libros anteriores, pero entre los antecedentes de este habría que destacar (en orden cronológico) *History of the Institute for Advanced Study, 1930-1950* (1964), de Beatrice Stern; *The Computer from Pascal to Von Neumann* (1972), de Herman Goldstine; *History of Computing in the Twentieth Century* (1980), de Nicholas Metrópolis; *Alan Turing: The Enigma* (1983), de Andrew Hodges; *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey* (1988), de Rolf Herken, y *John von Neumann and the Origins of Modern Computing* (1990), de William Aspray. [\[1\]](#)

Julian Bigelow y sus colegas diseñaron y construyeron el nuevo ordenador en menos tiempo que el que yo necesité para escribir este libro. Agradezco a Martin Asher, John Brockman, Stefan McGrath y Katinka Matson su paciencia por haberlo permitido. La familia Bigelow, el Instituto de Estudios Avanzados, Francoise Ulam y, especialmente, Marina Von Neumann Whitman me proporcionaron acceso a los documentos que dieron vida a esta historia. Gabriella Bollobás tradujo un extenso corpus de correspondencia, interpretando no solo los matices de la lengua húngara, sino también el contexto emocional e intelectual de la Budapest de la época. Béla Bollobás, Marión Brodhagen, Freeman Dyson, Joseph Felsenstein, Holly Given, David Alan Grier, Danny Hillis, Verena Huber-Dyson, Jennifer Jacquet, Harris Mayer y Alvy Ray Smith me realizaron diversos comentarios sobre los primeros borradores. Akrevoe Kondopria Emmanouilides, que mecanografió y corrigió los informes sobre los progresos del Proyecto de Computador Electrónico del Instituto de Estudios Avanzados cuando era un adolescente, en 1946, detectó errores que de otro modo podrían haber sido pasados por alto.

Por último, vaya mi agradecimiento a quienes patrocinaron el trabajo que constituye el tema de este libro. «Mientras unos ancianos en congresos y parlamentos debatían la asignación de unos pocos miles de dólares, hubo

generales y almirantes con visión de futuro que no dudaron en desviar sumas sustanciales para ayudar a unos excéntricos en Princeton, Cambridge y Los Álamos», observó Nicholas Metrópolis al repasar el desarrollo de los ordenadores tras la Segunda Guerra Mundial. [\[5\]](#)

Los primeros ordenadores se construyeron en muchos lugares, dejando fósiles que permanecen bien conservados. Pero ¿qué fue exactamente lo que, una vez dado todo lo demás, provocó la reacción en cadena entre la matriz de direcciones y los códigos de instrucciones, engendrando el universo digital en el que actualmente nos hallamos todos inmersos?

Lo único que hizo falta fue $C(D)$.

* * * *

Personajes principales

- KATALIN (LILI) ALCSUTI (1910-1990): prima más joven de John von Neumann y nieta del abuelo materno de este, Jacob Kann (1854-1914).
- HANNES ALFVÉN (1908-1995): físico sueco-estadounidense, uno de los artífices de la magnetohidrodinámica y autor (bajo el seudónimo de Olof Johannesson) de *La historia del Gran Ordenador*.
- FRANK AYDELOTTE (1880-1956): segundo director del Instituto de Estudios Avanzados (IAS), 1939-1947.
- LOUIS BAMBERGER (1855-1944): magnate de unos grandes almacenes de Newark, Nueva Jersey, y cofundador, junto con su hermana Carne Fuld, del IAS.
- NILS AALL BARRICELLI (1912-1993): matemático, biólogo y especialista en genética viral italo-noruego; trabajó en el IAS en 1953, 1954 y 1956.
- JULIAN HIMELY BIGELOW (1913-2003): ingeniero electrónico estadounidense y cofundador en 1943, junto con Norbert Wiener, del Grupo de Cibernética; ingeniero jefe del Proyecto de Computador Electrónico (ECP, por sus siglas en inglés) del IAS, 1946-1951.
- ANDREW DONALD BOOTH (1918-2009): físico británico, especializado en cristalografía de rayos X, inventor y uno de los primeros arquitectos informáticos; colaboró como visitante en el ECP del IAS en 1946 y 1947.
- KATHLEEN (de soltera BRITTEN) BOOTH (n. 1922): especialista en física computacional y miembro del Grupo de Estructura Biomolecular de J. D. Bernal; colaboró como visitante en el ECP del IAS en 1947; autora de *Programming for an Automatic Digital Calculator* (1958).
- ARTHUR W. BURKS (1915-2008): ingeniero estadounidense responsable del proyecto ENIAC (Electronic Numerical Integrator and

Computer), filósofo, lógico y «escriba» del equipo de diseño preliminar del IAS en 1946.

- VANNEVAR BUSH (1890-1974): pionero del ordenador analógico; director de la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, y principal administrador del Proyecto Manhattan.
- JULE GREGORY CHARNEY (1917-1981): meteorólogo estadounidense y jefe del Proyecto de Meteorología del IAS en 1948-1956.
- RICHARD F. CLIPPINGER (1913-1997): matemático e informático estadounidense; supervisó la reconversión del ENIAC al modo de programa almacenado en 1947.
- HEWITT CRANE (1927-2008): ingeniero electrotécnico estadounidense, miembro del ECP del IAS en 1951-1954 y, posteriormente, principal científico del Instituto de Investigación de Stanford.
- FREEMAN J. DYSON (n. 1923): físico y matemático anglo-estadounidense; llegó al IAS con una beca de investigación de la Commonwealth en septiembre de 1948.
- CARL HENRY ECKART (1902-1973): físico estadounidense, primer director de la Institución Oceanográfica Scripps y cuarto marido de Klára (Klári) Von Neumann.
- JOHN PRESPEER ECKERT (1919-1995): ingeniero electrónico estadounidense, desarrollador del ENIAC y cofundador, junto con John Mauchly, de la Electronic Control Company, fabricante del BINAC y el UNIVAC.
- AKREVOE (de soltera KONDOPRIA) EMMANOUILIDES (n. 1929): secretaria administrativa de Herman Goldstine en el proyecto ENIAC de la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica, y en el ECP del IAS, en 1946-1949.
- GERALD ESTRIN (n. 1921): miembro del ECP del IAS en 1950-1956, con una excedencia para dirigir la construcción del WEIZAC, un

hermano de primera generación del MANIAC, en el Instituto Weizmann de Rehovot, Israel, en 1953-1955.

- THELMA ESTRIN (n. 1924): ingeniera electrónica, miembro del ECP del IAS en 1950-1956 y esposa de Gerald Estrin.
- FOSTER (1915-1999) y CERDA (1916-1988) EVANS: matrimonio de físicos de Los Alamos que trabajaban en equipo en programación termonuclear; estuvieron en el IAS en 1953 y 1954.
- RICHARD P. FEYNMAN (1918-1988): físico estadounidense y miembro del grupo de computación de Los Alamos durante la guerra.
- ABRAHAM FLEXNER (1866-1959): maestro y reformador docente estadounidense, cofundador y primer director del IAS en 1930-1939.
- SIMÓN FLEXNER (1863-1946): filántropo estadounidense, directivo de la Fundación Rockefeller y hermano mayor de Abraham Flexner.
- STANLEY P. FRANKEL (1919-1978): físico estadounidense, discípulo de Robert Oppenheimer y colega de Richard Feynman en Los Alamos; miembro del ENIAC original y del equipo de cálculo termonuclear del IAS; pionero del diseño del miniordenador.
- KURT GÖDEL (1906-1978): lógico austríaco de origen moravo; llegó al IAS en 1933.
- HERMAN HEINE GOLDSTINE (1913-2004): matemático estadounidense, oficial del ejército de Estados Unidos, administrador del ENIAC y director adjunto del ECP del IAS en 1946-1956.
- IRVING JOHN (JACK) GOOD (nacido como Isidore Jacob Gudak, 1916-2009): estadístico anglo-estadounidense especializado en estadística bayesiana, pionero de la inteligencia artificial, criptógrafo y ayudante de Alan Turing en el desciframiento de códigos por parte de los británicos durante la Segunda Guerra Mundial.
- LESLIE RICHARD GROVES (1896-1970): general del ejército estadounidense, comandante de Los Álamos durante la Segunda

Guerra Mundial y, más tarde, director de investigación en Remington Rand.

- VERENA HUBER-DYSON (n. 1923): lógica suizo-estadounidense especializada en teoría de grupos; llegó al IAS con una beca de posdoctorado en 1948.
- JAMES BROWN HORNER (DESMOND) KUPER (1909-1992): físico estadounidense, segundo marido de Mariette (Kovesi) Von Neumann.
- HERBERT H. MAASS (1878-1957): abogado, cofundador y administrador del IAS.
- BENOIT MANDELBROT (1924-2010): matemático franco-estadounidense de origen polaco; invitado por Von Neumann al IAS en 1953 para estudiar las distribuciones de frecuencia de las palabras.
- JOHN W. MAUCHLY (1907-1980): físico e ingeniero electrotécnico estadounidense, cofundador del proyecto ENIAC.
- HARRIS MAYER (n. 1921): físico estadounidense del Proyecto Manhattan y colaborador de Edward Teller y John von Neumann.
- RICHARD W. MELVILLE (1914-1994): principal ingeniero mecánico del ECP del IAS, 1948-1953.
- NICHOLAS CONSTANTINE METRÓPOLIS (1915-1999): matemático e informático greco-estadounidense, uno de los primeros impulsores del método de Montecarlo y jefe del grupo de computación de Los Álamos.
- BERNETTA MILLER (1884-1972): pionera de la aviación; auxiliar administrativa en el IAS en 1941-1948.
- OSKAR MORGENSTERN (1902-1977): economista austríaco-estadounidense, coautor, junto con John von Neumann, de *Theory of Games and Economic Behavior* (1944).
- HAROLD CALVIN (MARSTON) MORSE (1892-1977): matemático estadounidense; sexto profesor contratado en el IAS.

- MAXWELL HERMAN ALEXANDER NEWMAN (1897-1984): matemático británico especializado en topología, pionero de la informática y mentor de Alan Turing.
- J. ROBERT OPPENHEIMER (1904-1967): físico, director del Laboratorio Nacional de Los Álamos durante la Segunda Guerra Mundial y director del IAS en 1947-1966.
- WILLIAM PENN (1644-1718): agitador cuáquero e hijo del almirante *sir* William Penn (1621-1670); fundador de Pensilvania y primer propietario de las tierras donde posteriormente se construiría el IAS.
- JAMES POMERENE (1920-2008): ingeniero electrónico estadounidense; miembro del ECP del IAS en 1946-1955; en 1951 sustituyó a Julian Bigelow como ingeniero jefe.
- IRVING NATHANIEL RABINOWITZ (1929-2005): astrofísico e informático; miembro del ECP del IAS en 1954-1957.
- JAN RAJCHMAN (1911-1989): ingeniero electrónico polaco-estadounidense; inventor del almacenamiento de matriz de resistencias y del tubo de memoria Selectrón de la RCA.
- LEWIS FRY RICHARDSON (1881-1953): pacifista, matemático e ingeniero electrotécnico británico; uno de los primeros impulsores de la predicción meteorológica numérica.
- ROBERT RICHTMYER (1910-2003): físico y matemático estadounidense, pionero del diseño de armas nucleares.
- JACK ROSENBERG (n. 1921): ingeniero electrónico estadounidense, miembro del ECP del IAS en 1947-1951.
- MORRIS RUBINOFF (1917-2003): físico e ingeniero electrónico canadiense-estadounidense; miembro del ECP del IAS en 1948-1949.
- MARTIN SCHWARZSCHILD (1912-1997): astrofísico germano-estadounidense que desarrolló los primeros códigos de evolución estelar.

- ATLE SELBERG (1917-2007): matemático noruego-estadounidense especializado en teoría de números; llegó al IAS en 1947.
- HEDVIG (HEDÍ; de soltera LIEBERMANN) SELBERG (1919-1995): profesora de matemáticas y física de origen transilvano; esposa de Atle Selberg, colaboradora de Martin Schwarzschild y principal codificadora del ECP del IAS.
- CLAUDE ELWOOD SHANNON (1916-2001): matemático e ingeniero electrotécnico estadounidense, pionero de la teoría de la información; miembro visitante del IAS (1940-1941) y colaborador de Norbert Wiener, John von Neumann y Alan Turing.
- RALPH SLUTZ (1917-2005): físico estadounidense, miembro del ECP del IAS en 1946-1948; supervisó la construcción del SEAC (Standards Eastern Automatic Computer), el primero de los diseños tipo IAS que llegó a ser operativamente completo.
- JOSEPH SMAGORINSKY (1924-2005): meteorólogo estadounidense; trabajó en el IAS en 1950-1953.
- LEWIS L. STRAUSS (1896-1974): oficial de la marina y empresario estadounidense, administrador del IAS y jefe de la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos.
- LEO SZILÁRD (1898-1964): físico húngaro-estadounidense, renuente pionero de las armas nucleares y autor de *The Voice of the Dolphins*.
- EDWARD TELLER (1908-2003): físico húngaro-estadounidense y principal defensor de la bomba de hidrógeno (o «superbomba»).
- PHILIP DUNCAN THOMPSON (1922-1994): oficial de enlace de la fuerza aérea estadounidense en el ámbito meteorológico, asignado al ECP del IAS en 1948-1949.
- BRYANT TUCKERMAN (1915-2002): matemático especializado en topología e informático estadounidense; miembro del ECP del IAS en 1952-1957.

- JOHN W. TUKEY (1915-2000): estadístico estadounidense que trabajó en la Universidad de Princeton y en los Laboratorios Bell; acuñó el término *bit*.
- ALAN MATHISON TURING (1912-1954): lógico y criptógrafo británico; autor de «On Computable Numbers» («Sobre números computables», 1936).
- FRANCOISE (de soltera ARON) ULAM (1918-2011): redactora y periodista franco-estadounidense, esposa de Stanislaw Ulam.
- STANISLAW MARCIN ULAM (1909-1984): matemático polaco-estadounidense y protegido de John von Neumann.
- OSWALD VEBLEN (1880-1960): matemático estadounidense, sobrino de Thorstein Veblen y primer profesor del IAS desde 1932.
- THEODORE VON KÁRMÁN (1881-1963): físico húngaro-estadounidense especializado en aerodinámica, fundador del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL por sus siglas en inglés).
- JOHN VON NEUMANN (nacido como Neumann János, 1903-1957): matemático húngaro-estadounidense; cuarto profesor del IAS desde 1933; fundador del ECP del IAS.
- KLÁRA (de soltera DAN) VON NEUMANN (1911-1963): segunda esposa de John von Neumann, con quien se casó en 1938.
- MARGIT (de soltera KANN) VON NEUMANN (1880-1956): Madre de John von Neumann.
- MARIETTE (de soltera KOVESI) VON NEUMANN (1909-1992): primera esposa de John von Neumann, con quien se casó en 1929.
- MAX VON NEUMANN (nacido como Neumann Miksa, 1873-1928): banquero de inversiones, abogado y padre de John von Neumann.
- MICHAEL VON NEUMANN (nacido como Neumann Mihály, 1907-1989): físico y hermano pequeño de John von Neumann.

- NICHOLAS VON NEUMANN (nacido como Neumann Miklos, 1911-2011): abogado de patentes y el menor de los hermanos de John von Neumann.
- WILLIS H. WARE (n. 1920): ingeniero electrotécnico estadounidense y miembro del ECP del IAS en 1946-1951; posteriormente trabajó en RAND.
- WARREN WEAVER (1894-1978): matemático estadounidense que se definió a sí mismo como «*filantropoide* en jefe» de la Fundación Rockefeller; durante la Segunda Guerra Mundial fue director del Panel de Matemática Aplicada de la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico de Estados Unidos.
- MARINA (de soltera VON NEUMANN) WHITMAN (n. 1935): economista, asesora de la presidencia estadounidense e hija de John von Neumann y Mariette Kovesi Von Neumann.
- NORBERT WIENER (1894-1964): matemático estadounidense; cofundador, junto con Julian Bigelow y John von Neumann, del Grupo de Cibernética.
- EUGENE (JENO) P. WIGNER (1902-1995): físico y matemático húngaro-estadounidense.
- FREDERIC C. WILLIAMS (1911-1977): ingeniero electrónico británico, pionero del radar en la Segunda Guerra Mundial y artífice, en el Centro de Investigación en Telecomunicaciones del Reino Unido (TRE, por sus siglas en inglés) y en la Universidad de Manchester, del tubo de memoria de rayos catódicos Williams y del Manchester Mark 1, el primer ordenador de programa almacenado operativo que lo utilizó.
- VLADIMIR KOSMA ZWORYKIN (1889-1982): ingeniero estadounidense de origen ruso pionero de la televisión, y director de los laboratorios de la RCA en Princeton.

* * * *

Capítulo 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 Lañe, 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. [\[6\]](#)

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 información 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. [\[11\]\[7\]](#) 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. [\[8\]](#)

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 lógica* («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». [\[9\]](#) 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. [\[10\]](#) Cinco de ellos estaban al final de Olden Lañe, treinta y dos se distribuían entre los 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. [\[11\]](#)

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 recogidos 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 cualquier 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.» [\[12\]](#) 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.» [\[13\]](#)

«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.» [\[14\]](#) 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 Metrópolis 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. Metrópolis 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 Metrópolis 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.» [\[15\]](#)

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 (megatones) en el atolón de Enewetak el 1 de noviembre de 1952, y *Castle Bravo*, que liberó 15 megatones 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 kilotones— 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. ^[16] 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.

^[17]

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 Alamos, 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». ^[18] 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». [\[19\]](#)

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 analógico 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. [\[20\]](#) 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). [\[21\]](#)

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.» [\[22\]](#)

* * * *

Capítulo 2

Olden Farm

¡Eran los lenni-lenape! ¡Eran las tribus de los lenni-lenape! El sol salía en agua salada y se ponía en agua dulce, y nunca se ocultaba a sus ojos... Parecía casi ayer cuando los hijos de los lenape eran los amos del mundo.

JAMES FENIMORE COOPER, 1826

Se ha dicho que estar en Princeton, Nueva Jersey, en verano es como estar «dentro de la boca de un perro». Los habitantes originarios de la zona, los lenni-lenape (el «pueblo original» o «los hombres de los hombres»), abandonaban el interior de Nueva Jersey en verano y se dirigían, o bien a la costa norte, o bien a campamentos situados en los estuarios de la bahía de Delaware. «Desde entonces [junio] hasta el mes actual [agosto] —informaba William Penn durante su primer verano en el río Delaware, en 1683—, hemos tenido calores *extraordinarios*.)» ^[23] Penn había desembarcado en la bahía de Delaware el 27 de octubre de 1682, después de una travesía (partiendo de Deal, Inglaterra) de cincuenta y nueve días a bordo del *Welcome*, durante la cual había habido un brote de viruela y habían muerto 31 de los 99 colonos que lo acompañaban. Penn, que había sobrevivido a la viruela cuando tenía tres años, atendió a los enfermos durante el viaje y llegó en un excelente estado de salud.

Los lenni-lenape, un subgrupo del pueblo algonquino, fueron denominados «delaware» por los colonos holandeses, suecos e ingleses que llegaron en el siglo XVII siguiendo la estela del navegante italiano Giovanni da Verrazzano en 1524. Los lenape recibieron a los recién llegados con diplomacia, pero los

colonos tenían la tecnología y la inmunidad de su parte. «¿Qué nos pasa a los indios —se preguntaba el jefe Tenoughan, del río Schuylkill, según el relato de Penn— que estamos tan enfermos en nuestro propio aire, mientras esos extranjeros están bien?» [\[24\]](#)

Los lenni-lenape del área de Princeton pertenecían a la nación unami, identificada con el clan de la Tortuga. Los observadores europeos nunca estuvieron del todo seguros de si los unami formaban parte de la Tortuga o si era la Tortuga la que formaba parte de los unami. Nueva Jersey albergaba once especies de tortugas, adaptadas a todas las condiciones, desde las que hibernaban en el fondo de charcas congeladas hasta las que disfrutaban del sol en pleno verano. Para una vigorosa tortuga norteamericana, una especie que ha permanecido invariable durante sesenta millones de años, solo un abrir y cerrar de uno de sus ojos con doble párpado nos separa de William Penn.

En 1609, Henry Hudson, en representación de la Compañía Neerlandesa de las Indias Orientales, exploró el estuario de Newark antes de remontar el río que hoy lleva su nombre. En 1614, Cornelius Jacobsen Mey, también holandés, exploró la bahía de Delaware y penetró en dicho río, navegable hasta el emplazamiento de las actuales cataratas de Trenton, o de Delaware. Tras la restauración de la monarquía inglesa en 1660, Carlos II cuestionó las pretensiones holandesas sobre Norteamérica, y en 1664 otorgó todo el territorio comprendido entre Virginia y Nueva Francia a su hermano, el duque de York (posteriormente Jacobo II). Dicho territorio recibió el nombre de Nueva York, y una parte de él, la comprendida entre los ríos Delaware y Hudson, se subdividió aún más; la mitad oriental (la que lindaba con el río Delaware y la bahía de Delaware) fue asignada a lord Berkeley, mientras que la mitad occidental (la que lindaba con el río Hudson y el océano Atlántico) fue asignada a *sir* George Carteret. La provincia recibió el nombre de Nueva Jersey, y pronto cayó en manos de los cuáqueros, la denominada Sociedad de los Amigos.

En 1675, lord Berkeley vendió su parte de Nueva Jersey occidental por mil libras a John Fenwick y Edward Byllynge, dos cuáqueros cuya posterior disputa sobre la propiedad fue remitida al arbitraje de William Penn. Fenwick partió hacia América con su familia y un grupo de correligionarios cuáqueros a bordo del *Griffith* (o *Griffin*), fundando una colonia en «un lugar rico y agradable» (Salem) a orillas del Delaware, mientras que Byllynge contrajo una serie de deudas y a la larga hubo de transferir su parte a un grupo de acreedores entre los que ahora se incluía el propio Penn. [\[25\]](#)

Penn, que había estudiado derecho en Londres, tomó la iniciativa en la elaboración de una constitución para la nueva colonia, que sería promulgada en 1676 bajo el título de «Concesiones y acuerdos de los propietarios, terratenientes y habitantes de la provincia de Nueva Jersey Occidental». Cien años antes de la Declaración de Independencia estadounidense, este documento establecía una democracia representativa, con libertad religiosa y de reunión, juicios con jurado, libertad económica y otros principios que más tarde se incorporarían a las constituciones de Pensilvania y, a la larga, de Estados Unidos. Penn también participó en una sociedad que compró Nueva Jersey oriental (incluida una gran parte de lo que luego sería Princeton) en una subasta celebrada en 1682 por 3.400 libras de las propiedades de Carteret.

William Penn era el hijo rebelde del almirante *sir* William Penn, que dirigió a la flota inglesa en dos guerras contra los holandeses y conquistó Jamaica (para Cromwell) en 1655. Durante la guerra civil inglesa se alineó con el Parlamento contra el rey, pero en secreto se ofreció a cambiar de bando, y posteriormente se convirtió en favorito del hermano del monarca, Jacobo. A la edad de quince años el joven Penn fue enviado a Oxford, de donde no tardó en ser expulsado por oficiar servicios religiosos en su habitación y negarse a asistir a la capilla o vestir toga. Tras un viaje de dos años por Europa, se le confió la administración de las propiedades de su padre en Irlanda, donde empezó a frecuentar a los cuáqueros, una secta disidente en

rápido crecimiento. Pronto fue detenido y encarcelado, en la que sería la primera de unas siete veces. «El señor William Pen[n], que recientemente ha venido de Irlanda, es de nuevo un cuáquero, algo muy melancólico», anotó en su célebre diario Samuel Pepys el 29 de diciembre de 1667.

A su regreso a Londres, Penn empezó a publicar panfletos. «Los cimientos de arena sacudidos», donde cuestionaba la Trinidad, le hizo dar con sus huesos en la Torre de Londres durante ocho meses (durante los cuales escribió el libro *Ni cruz, ni corona*, además de varios opúsculos incendiarios). En agosto de 1670 fue nuevamente detenido en Londres, esta vez junto con William Mead, por predicar en la calle después de que el templo cuáquero de Gracechurch Street fuera clausurado por las autoridades, que acusaron a Penn y a Mead de «haberse reunido y congregado ilegal y tumultuosamente, para la perturbación de la paz del mencionado Señor el Rey». [\[26\]](#)

Después de dos semanas en la prisión de Newgate, Penn y Mead se declararon inocentes. «Nosotros no causamos el tumulto, sino ellos, que nos interrumpieron —argumentó Penn—. Es bien conocido que somos gente pacífica, y no podemos ofrecer violencia a ningún hombre.» [\[27\]](#) El veredicto de los miembros del jurado confirmó su inocencia, por lo que también estos fueron encarcelados por desacato al tribunal. «No seréis liberados hasta que tengamos un veredicto que acepte el tribunal; y seréis encerrados, sin carne, bebida, fuego ni tabaco; así no pensaréis en abusar del tribunal; tendremos un veredicto, con la ayuda de Dios, o pasaréis hambre por ello», les informó la Corona. [\[28\]](#) Tamaña injusticia provocó un clamor que finalmente condujo a la liberación de Penn y Mead, junto con los miembros del jurado, y precipitó un cambio en el derecho británico. Pero Penn no tardaría en volver a la cárcel, esta vez en 1671, condenado a seis meses por negarse a jurar lealtad al rey.

El almirante *sir* William Penn murió en 1670, dejando pendiente de cobro una deuda de 16.000 libras, oficialmente 11.000 libras en «gastos de avituallamiento» más intereses, contraída con él por la Corona. Corría el

rumor de que el almirante había cubierto una deuda de juego del monarca. En 1680, su hijo William le solicitó su liquidación al rey, y le propuso que la Corona le otorgara «una extensión de tierra en América, situada al norte de Maryland, que por el este linda con el río Delaware, por el oeste tiene el mismo límite que Maryland y por el norte se extiende a todo el terreno cultivable, que es íntegramente indio». ^[29] Carlos y Jacobo aceptaron, saldando la deuda y librándose de Penn. La colonia de Pensilvania, con su capital Filadelfia, sería el resultado de ello.

Penn llegó en 1682, asumió el cargo de gobernador y viajó extensamente por todo el territorio inculto circundante, aprendiendo la lengua de los lenni-lenape lo bastante bien como para poder conversar sin la ayuda de un intérprete, y comparando la justicia y la igualdad que encontró entre los indios con las injusticias y desigualdades que había dejado atrás. «Los encuentro... de una profunda sagacidad natural —escribió a su amigo Robert Boyle, de la Royal Society, en 1683—. La humilde condición del indio pobre eclipsa las vidas de esos cristianos que se pretenden superiores.» ^[30]

Al oeste de Pensilvania se extendían los páramos, mientras que al este las tierras salvajes de Nueva Jersey quedaban ahora encajadas entre dos poblaciones crecientes centradas en torno a Filadelfia y Nueva York. La conexión más directa entre los dos asentamientos era por tierra, a través de la «cintura» de Nueva Jersey, entre el punto máximo navegable del Delaware (cerca de la actual Trenton, río arriba de Filadelfia) y el punto máximo navegable del Raritan (cerca de la actual New Brunswick, río arriba de Nueva York). Este sendero pedestre, muy utilizado por los lenni-lenape, se iría convirtiendo, sucesivamente, en una pista transitable por caballos, en un camino de carro, en el «Camino Real» para las diligencias y, finalmente, en las Rutas Estatales 27 y 206.

En 1683, un colono llamado Henry Greenland abrió una taberna cerca del punto medio del camino de carro, y en torno a ese núcleo empezó a formarse un pueblo. En 1683 los propietarios de Nueva Jersey oriental y

occidental se reunieron en la taberna de Greenland para decidir sus fronteras comunes, y eso sirvió para situar en el mapa la entonces denominada Prince-Town («ciudad del príncipe»), al tiempo que el territorio inculto circundante atraía a un pequeño grupo de cuáqueros que buscaban distanciarse todo lo posible de las influencias seculares de Filadelfia y Nueva York. A mitad de camino entre el Raritan y el Delaware, y justo al sur de la ruta terrestre, había un riachuelo que los lenape llamaban Wapowog, y que fluía a través de las tierras que William Penn había ocupado en 1693 como su parte de la concesión originaria a los propietarios de Nueva Jersey oriental. Seis familias cuáqueras estrechamente unidas, con Penn como socio absentista, fundaron allí una colonia en 1696 y la llamaron Stony Brook («arroyo pedregoso»). En lugar de una taberna, construyeron un templo cuáquero.

Los patriarcas de esas familias eran Benjamin Clarke, William Olden, Joseph Worth, John Hornor, Richard Stockton y Benjamin Fitz Randolph; de ellos, Stockton se convirtió en el principal terrateniente gracias a las 2.225 hectáreas que en 1701 le compró por 900 libras a William Penn (quien se reservó 425 hectáreas «que al mencionado William Penn le parezcan apropiadas y convenientes»). ^[31] En 1696, Benjamin Clarke compró 486 hectáreas situadas entre Stony Brook, la frontera provincial, la actual Stockton Street y la actual Springdale Road, traspasando 162 hectáreas (incluido el futuro emplazamiento del Instituto de Estudios Avanzados) a su cuñado William Olden y cediendo alrededor de cuatro hectáreas en fideicomiso a la Sociedad de los Amigos para la construcción del templo y el cementerio en 1709. El templo se terminó en 1726, y los colonos también abrieron una escuela y construyeron molinos hidráulicos. En 1737 había una diligencia que unía Trenton y New Brunswick dos veces por semana, y, por su parte, Prince-Town había crecido para poder acomodar a quienes allí se detenían para cambiar los caballos o pasar la noche.

Al no haber ninguna institución de enseñanza superior entre la Universidad de Yale, en New Haven, Connecticut, y la Universidad William and Mary, en

Williamsburg, Virginia, en 1746 los presbiterianos fundaron una Universidad de Nueva Jersey, cuyas aulas fueron emplazadas primero en Elizabeth y luego en Newark, para trasladarse finalmente a Princeton en enero de 1753, después de que la comunidad de cuáqueros les cediera el terreno. Los primeros estudiantes llegaron en 1756 y, en enero de 1774, mientras se fraguaba la revolución, abrazaron la causa de la independencia quemando la reserva de té para el invierno del director.

Cuando la guerra llegó a Princeton, a finales de noviembre de 1776, las cosas no iban bien para el bando norteamericano. Lo primero que vio Princeton de las fuerzas de George Washington fue un ejército exhausto, en plena retirada a Pensilvania después de una serie de derrotas que incluían Brooklyn Heights (en Long Island), White Plains y Fort Washington (en la isla de Manhattan, de Nueva York).

El general Washington y aproximadamente tres mil hombres llegaron a Princeton la noche del 1 de diciembre, perseguido por las fuerzas de lord Cornwallis y su séquito de mercenarios alemanes, que a su paso se entregaban al saqueo y al pillaje. Washington se reagrupó en Princeton durante una semana antes de retirarse a Trenton y, finalmente, a un lugar seguro al otro lado del Delaware, mientras que los británicos se agruparon en Trenton para perseguirles.

El día de Nochebuena, Washington volvió a cruzar sigilosamente el Delaware (con 2.400 hombres) y a las ocho de la mañana del día 26 lanzó un ataque por sorpresa en medio de una tormenta de nieve. Luego volvió a Pensilvania y reabasteció sus fuerzas lo mejor que pudo hasta el día de Año Nuevo, cuando, con unos 5.000 hombres (más de la mitad de ellos irregulares), se reagrupó en Trenton y se preparó para enfrentarse a las fuerzas de Cornwallis, que avanzaban desde Princeton. Esto condujo a un punto muerto a lo largo de las dos orillas de un riachuelo llamado Assunpink Creek. La noche del segundo día hizo un frío glacial que heló los caminos embarrados,

permitiendo escapar al amparo de la oscuridad al ejército de Washington, junto con su artillería, por la ruta que llevaba a Stony Brook.

El amanecer del 3 de enero encontró a la columna principal del ejército norteamericano en las inmediaciones del templo cuáquero, marchando hacia el pueblo de Princeton por una ruta que bordeaba el barranco poco profundo que separaba Olden Farm de la ribera de Stony Brook, atravesando lo que hoy es el campo abierto que se extiende detrás del Instituto de Estudios Avanzados y luego girando a la derecha en dirección al pueblo de Princeton y pasando por los terrenos del actual club de golf Springdale, que entonces era la granja de Stockton. La ruta pasaba por una extensión de terreno bajo que ciento setenta años después se convertiría en el emplazamiento del edificio del Proyecto de Computador Electrónico, al final de la calle Olden Lañe, y ahí es donde estaba la columna principal cuando se inició la batalla de Princeton. Washington había ordenado a su íntimo amigo el general Hugh Mercer que, junto con unos 350 hombres, retrocediera hasta Stony Brook a lo largo de Quaker Road y destruyera el puente a la altura de los molinos de Worth (donde hoy la Ruta 206 cruza el arroyo). Sin embargo, el grupo de Mercer fue descubierto por las fuerzas británicas que se dirigían de Princeton a Trenton para unirse a la batalla que se esperaba que iba a producirse allí, y tuvo lugar un breve e intenso combate que dejó alrededor de 50 norteamericanos muertos y 150 heridos (frente a 24 muertos, 58 heridos y 194 prisioneros en el bando británico). Tras verse rodeado, el general Mercer se negó a rendirse; los británicos, que le confundieron con el general Washington, le asestaron varios bayonetazos y le dieron por muerto. Washington, que llegó con refuerzos, reorganizó a los supervivientes, expulsó a los británicos del campo y asaltó su cuartel general, situado en el edificio Nassau Hall de la universidad, mientras los británicos que no habían sido hechos prisioneros se retiraban hacia New Brunswick por las colinas. Mercer recobró el conocimiento y sobrevivió durante nueve días en la granja de Clarke, convertida en hospital de campaña, cerca de donde había caído.

Dado que era médico de profesión, comprendió enseguida que, aunque las heridas que tenía en la cabeza no eran mortales de necesidad, las del abdomen sí lo eran. No obstante, se había alterado el curso de la guerra. Nuevos alistamientos vinieron a aumentar las fuerzas de Washington, la insurrección ganó apoyo popular, y los británicos abandonaron Nueva Jersey para dirigirse a Nueva York.

Tras su breve papel en la que fue la primera revolución estadounidense, Olden Farm —la antigua granja de los Olden— llevaría una vida tranquila hasta que llegaran los matemáticos y empezaran a trabajar en la siguiente.

* * * *

Capítulo 3

El círculo de Veblen

*¿Qué podría ser más sabio que darle
a la gente capaz de pensar tiempo
libre en el que hacerlo?*

*WALTER W. STEWART a ABRAHAM
FLEXNER, 1939*

El 2 de mayo de 1847, los recién casados Thomas y Kari Veblen, que apenas hablaban una palabra de inglés, abandonaron su hogar en el distrito de Valdres, en el interior de Noruega, para emigrar a Estados Unidos, dejando atrás una grave depresión económica y el cuerpo de su hijo muerto. El viaje duró diecinueve semanas, con un brote de tifus que a Thomas le costó la salud y a todos los pasajeros menores de seis años, la vida. Los Veblen llegaron a Milwaukee el 16 de septiembre, cuando Wisconsin estaba a punto de convertirse en estado, y después de que Kari cuidara de su marido hasta que este recuperó la salud, Thomas, que era ebanista de profesión, construyó una casa en la aldea de Port Ulao, situada en el condado de Ozaukee, en la orilla oeste del lago Michigan. En septiembre de 1848 nació Andrew Anders Veblen, el primero de sus once hijos estadounidenses. Mientras los nueve de ellos que sobrevivieron a su vida de pioneros iban creciendo, los Veblen se trasladaron otras tres veces, primero al condado de Sheboygan, en 1849, luego al de Manitowoc, en 1854, y finalmente al de Rice, Minnesota, en 1864. En cada uno de estos traslados Thomas Veblen se construyó su propia casa, incluidos las dependencias anexas y los graneros, y roturó él mismo sus tierras.

Los niños Veblen trabajaban largas horas en la granja. El padre de Kari, Thorstein Bunde, había perdido la propiedad familiar en Noruega a causa de las maquinaciones de unos abogados sin escrúpulos, y había muerto

agobiado por las cargas derivadas de ello cuando Kari tenía cinco años. Decididos a asegurarles un futuro mejor en Estados Unidos, los Veblen enviaron a todos sus hijos a la universidad, incluidas sus cuatro hijas; posteriormente, dos de ellos llegarían a ser figuras distinguidas: Andrew Veblen se convirtió en profesor de física y matemáticas en la Universidad de Iowa, mientras que Thorstein Veblen, nacido en 1857, llegó a ser un influyente teórico social, conocido sobre todo por acuñar la expresión «consumo conspicuo» en su obra maestra de 1899 *The Theory of the Leisure Class*. [\[III\]](#)

Thorstein Veblen tenía una visión darwiniana, agudizada por el hecho de haber crecido en la linde de un territorio salvaje, de la evolución conjunta de las empresas, los instrumentos financieros y las máquinas. Aunque respetado como economista, tuvo problemas económicos durante gran parte de su vida, y sus únicas inversiones personales significativas, en el negocio de las pasas de California, fracasaron. En 1888 y 1889 se retiró a la granja de su esposa en Stacyville, Iowa, donde se dedicó a traducir al inglés una epopeya nórdica del siglo XI, la *Saga de Laxdœla* («un documento etnológico de primer orden»), aunque no lograría encontrar una editorial que la publicara hasta 1925.

En una serie de libros entre los que se incluyen *The Theory of Business Enterprise* (1904), [\[IV\]](#) *The Instinct of Workmanship and the State of the Industrial Arts* (1914), *An Inquiry into the Nature of Peace and the Terms of Its Perpetuation* (1917), *The Higher Learning in America: A Memorandum on the Conduct of Universities by Business Men* (1918), *The Vested Interests and the Common Man* (1919) y *Absentee Ownership and Business Enterprise in Recent Times: The Case of America* (1923), Thorstein aplicó la economía evolutiva —un campo en el que fue pionero— a los grandes problemas que por entonces amenazaban a la sociedad. Contribuyó a fundar la Nueva Escuela de Investigación Social, la revista *Journal of Political Economy* y el movimiento tecnocrático. Sus libros fueron ampliamente leídos, pero sus

advertencias fueron no menos ampliamente desoídas, y murió, desalentado, en Menlo Park, California, en 1929, en vísperas de la Gran Depresión. «Oía a varios miembros de su familia, muertos hacía ya largo tiempo, hablarle en noruego», comentó un vecino cuando el final estaba cerca. [\[32\]](#)

Oswald Veblen, sobrino de Thorstein y el primero de los ocho hijos de Andrew Veblen, asistió a escuelas públicas en la ciudad de Iowa y luego a la universidad de dicha población, donde obtuvo un premio de tiro al blanco y otro de matemáticas. Sacó tiempo de sus estudios para navegar río abajo por el Iowa y el Mississippi al estilo de Huckleberry Finn, y seguiría siendo un ferviente amante de los bosques hasta el día de su muerte. Era alto y ágil, y siempre parecía que acabara de salir de entre el follaje. «Ni siquiera recuerdo verle nunca llevar nada que tuviera aspecto de nuevo», cuenta Herman Goldstine. Albert Tucker añade que «siempre tenía un cuarto botón en el abrigo, porque era muy alto y delgado». Corría un profundo apego a la tierra por su sangre noruega. «Es una persona de lo más excelente —señaló Abraham Flexner, primer director del Instituto de Estudios Avanzados—, pero las palabras *edificio* o *granja* tienen en él un efecto intoxicante.» [\[33\]](#)

Después de graduarse en matemáticas en 1898, a la edad de dieciocho años, Oswald Veblen se quedó como docente auxiliar de física durante un año más, trascurrido el cual se fue a Harvard, donde obtuvo su segunda licenciatura en 1900, para luego dirigirse a la Universidad de Chicago (donde Thorstein era profesor agregado de ciencias políticas) y obtener allí el doctorado. Su tesis, que versaba sobre los fundamentos de la geometría, propició que la Universidad de Princeton le contratara en 1905, durante el período de expansión que siguió al nombramiento como rector (en 1902) de Woodrow Wilson, el futuro presidente de Estados Unidos.

La Universidad de Nueva Jersey había sido rebautizada como Universidad de Princeton en 1896, con la expectativa de ampliar sus actividades a la formación de posgrado y la investigación científica. Wilson, el primer rector que no pertenecía al clero, empezó contratando «preceptores» —jóvenes

docentes de los que se esperaba que trabajaran en estrecha colaboración con los estudiantes— y alentó asimismo la investigación por parte del profesorado. Aunque Princeton seguía estando vetada a los estudiantes negros (hasta que el programa V-12 de la marina estadounidense rompió esa barrera en 1942) y a las mujeres (hasta 1969), Wilson fue el responsable de nombrar al primer profesor católico y al primer profesor judío del cuerpo docente. En la promoción de 1925, el número de estudiantes judíos llegó a veintitrés.

Wilson dejó la universidad para convertirse en gobernador de Nueva Jersey en 1911 y en presidente de Estados Unidos en 1913. En abril de 1917, al principio de su segundo mandato, se declaró la guerra a Alemania. Alrededor de 138 profesores de Princeton se alistaron en las fuerzas armadas antes de que terminara la contienda, entre ellos Veblen, que se unió a la primera ronda de voluntarios. Destinado como capitán al ejército de reserva, y más tarde ascendido a comandante, fue asignado a la Oficina de Investigación Balística del Departamento de Armamento del ejército, en Sandy Hook, Nueva Jersey, aunque solo a la espera de su traslado al Campo de Pruebas de Aberdeen, en Maryland, una reserva militar de 14.000 hectáreas situada en las costas de la bahía de Chesapeake.

La Aberdeen de 1918, cuyas improvisadas calles eran un mar de fango, fue una precursora de lo que sería Los Álamos en 1943. Su misión era movilizar los recursos de la ciencia y la industria estadounidenses contra la maquinaria de guerra alemana, pero para cuando el Campo de Pruebas estuvo operativo la guerra en Europa tocaba ya a su fin. Según Thorstein Veblen, Estados Unidos había entrado en la guerra, tardíamente, solo para asegurarse de que los intereses multinacionales de sus industriales se vieran protegidos frente a cualesquiera agitaciones sociales que la paz en Europa pudiera desencadenar. Dada su afición al tiro al blanco y su pericia en él, Oswald Veblen no tenía ninguna duda acerca de cómo ayudar, y mejorar la precisión de las armas de fuego no planteaba ninguna de las cuestiones morales que

más tarde suscitaría el desarrollo de las bombas atómicas. Según contó Herman Goldstine, tras completar su formación básica, mientras Veblen estuvo en Sandy Hook, a la espera de su traslado a Aberdeen, se dedicó a «asomarse desde un aeroplano lanzando bombas con la mano para tratar de ver cómo iba todo eso del bombardeo». [\[34\]](#)

La Gran Guerra, que en las trincheras había llegado a un punto muerto, se convirtió en una batalla por tener mayores y mejores armas. El fuego de artillería causaba alrededor de las tres cuartas partes de todas las víctimas, mientras que la aviación y las bombas desempeñarían un papel secundario hasta la Segunda Guerra Mundial. Estados Unidos entró en la guerra con artillería de tracción animal, y disparó el último tiro con un obús de 155 mm bautizado *Calamity Jane*. Pero, paralelamente, se empezaron a producir a toda prisa nuevas armas de artillería de largo alcance y proyectiles, que se llevaban a Aberdeen para ser puestos a prueba antes de enviarlos a ultramar, con destino a la Fuerza Expedicionaria estadounidense.

La primera ronda de pruebas se inició, en medio del peor invierno del que se tiene noticia, el 2 de enero de 1918. Veblen llegó el 4 de enero. Con la misma facilidad con la que Oppenheimer tomaría más tarde el mando en Los Alamos, él se puso a la altura de las circunstancias y asumió la dirección de todo el grupo de balística de Aberdeen. Dado que era el mayor de ocho hermanos, se encontró con que las dotes de liderazgo eran algo natural en él, mientras que su predisposición a realizar su parte de trabajo físico en el campo de tiro le valió la lealtad de sus hombres.

«La tremenda influencia de Veblen resultaba casi imperceptible en el momento en que se producía», explicó su colega de Princeton Albert Tucker. «Tenía una forma más bien vacilante de hablar, muy tímida e insegura —añadió una colega suya, la topóloga Deane Montgomery—, pero en realidad era un hombre extremadamente enérgico.» Para Klári von Neumann, era «un hombre alto y demacrado, con una timidez que le hacía tartamudear al hablar, pero un formidable adversario cuando alguien se cruzaba en su

camino». Herman Goldstine, que atribuye a Veblen el mérito de que Von Neumann le permitiera construir su ordenador en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, lo recuerda como «la clase de tipo que vertería gotas de agua sobre una piedra hasta llegar finalmente a erosionarla». [\[35\]](#)

Desde la época de Arquímedes y sus máquinas de asedio, los mandos militares habían acudido a los matemáticos cuando necesitaban ayuda. El problema que afrontaba Veblen era tan antiguo como las propias armas: si apuntas con un arma en una dirección determinada y la cargas con un determinado proyectil, ¿dónde aterrizará este? O, dicho de otro modo, si quieres alcanzar un objetivo determinado con un determinado proyectil, ¿hacia dónde tendrás que apuntar el arma? Según Newton y Galileo, la trayectoria de un proyectil era una magnitud calculable, pero en la práctica resultaba difícil predecir el comportamiento de un proyectil en vuelo.

Con la introducción de la artillería de retrocarga y el cañón estriado, la precisión mejoró hasta el punto en que resultó posible probar un arma un número fijo de veces, distribuyendo los disparos a lo largo de una gama de distancias, y luego utilizar un modelo matemático para elaborar una tabla de disparos (o tabla de alcance) completa a partir de ahí. Ahora, el alcance, la velocidad y la altitud se habían incrementado hasta el punto de que el vuelo del proyectil se veía afectado por factores que abarcaban desde el cambio de densidad de la atmósfera hasta la rotación de la Tierra. La elaboración de las tablas de alcance requería un enorme número de cálculos, en su mayoría realizados a mano.

Veblen afrontó los obstáculos técnicos que comportaba mantener la comunicación con sus observadores a través de unos campos de tiro que se extendían a lo largo de kilómetros, a veces adentrándose a gran distancia en la bahía de Chesapeake, junto con el reto de desarrollar modelos numéricos que concordaran con los resultados experimentales. Las diferencias entre lo que predecían los modelos y el lugar donde realmente aterrizaban los proyectiles se veían reducidas, en la medida de lo posible, por el denominado

«coeficiente balístico», una constante empíricamente deducida que raras veces resultaba ser tan constante como debería, y que «fue diseñada para soportar una carga muy pesada», en palabras de un colega de Veblen, Forest Ray Moulton. [\[36\]](#)

Veblen organizó los equipos de «calculadoras humanas» [\[VI\]](#) que se pusieron bajo su mando, introduciendo hojas de cómputo mimeografiadas donde se formalizaba la ejecución de algoritmos paso a paso para procesar los resultados de las pruebas de tiro. Hizo falta todo el mes de febrero para realizar los cuarenta primeros disparos; sin embargo, en mayo su grupo realizaba cuarenta disparos diarios, y la creciente fuerza de calculadoras humanas no se quedaba a la zaga. Veblen reclutaba a mucha gente, y tenía una gran habilidad para descubrir a futuros matemáticos y sacar el mejor partido de su talento durante la guerra.

Uno de sus nuevos reclutas fue Norbert Wiener, un prodigio matemático de veinticuatro años de edad, con una buena formación después de dos años de estudios posdoctorales en Europa, pero socialmente torpe y desalentado por haber fracasado en su primer trabajo como docente. Hasta el ejército le había rechazado por tener mala vista y por su incapacidad para disparar un fusil o mantener las riendas de un caballo. Cuando Veblen localizó a Wiener, este vivía en Albany, Nueva York, y subsistía escribiendo artículos para la *Encyclopedia Americana*. «Recibí un telegrama urgente del profesor Oswald Veblen, del nuevo Campo de Pruebas de Aberdeen, Maryland —recordaría más tarde Wiener—. Era mi oportunidad de hacer un verdadero trabajo de guerra... Cogí el primer tren a Nueva York, donde hice transbordo en dirección a Aberdeen.»

El Campo de Pruebas transformó a Wiener. «Vivíamos en un ambiente extraño, donde los mandos administrativos, los mandos militares y los mandos académicos desempeñaban todos ellos un papel, y donde un teniente podía dirigirse a un soldado raso llamándole “doctor” o recibir órdenes de un sargento —escribiría—. Cuando no estábamos trabajando con

las ruidosas calculadoras manuales a las que llamábamos “estruendosas”, estábamos jugando al *bridge* todos juntos fuera de horas, usando las mismas calculadoras para registrar nuestros tanteos. También íbamos a nadar juntos en las aguas tibias y salobres de la bahía de Chesapeake, o a dar paseos por el bosque.»

«Hiciéramos lo que hiciésemos, siempre hablábamos de matemáticas — explicaba Wiener—. Gran parte de nuestra conversación no conducía a investigaciones inmediatas.» Wiener encontró que el Campo de Pruebas «proporcionaba cierto equivalente de aquella vida enclaustrada, pero entusiásticamente intelectual, que yo ya había experimentado en la Cambridge inglesa, pero no en ninguna universidad de Estados Unidos». Veblen había reunido a una comunidad que redefiniría las matemáticas estadounidenses en los años comprendidos entre la primera y la segunda guerras mundiales. «Durante muchos años después de la Primera Guerra Mundial —escribiría Wiener—, habría que buscar a una aplastante mayoría de los matemáticos estadounidenses de importancia entre quienes habían pasado por la disciplina del Campo de Pruebas. Así, la opinión pública sería consciente por primera vez de que nosotros, los matemáticos, teníamos una función que desempeñar en el mundo.» [\[37\]](#)

Después de que se firmara el Armisticio, en noviembre de 1918, Veblen hizo un viaje de cuatro meses por Europa para interrogar a sus colegas acerca de sus experiencias durante la guerra. Muchos de ellos habían vuelto ya al ámbito académico, lo que le dio la oportunidad de observar de primera mano el estado de las matemáticas europeas. Gotinga, Berlín, París y Cambridge eran los centros del mundo matemático, mientras que Harvard, Chicago y Princeton estaban todavía lejos de alcanzarlos. Veblen volvió a Princeton decidido tanto a reproducir el éxito de las instituciones europeas como a recuperar parte de la camaradería informal que existía en torno a las matemáticas en el Campo de Pruebas.

Se marcó tres objetivos inmediatos: patrocinarlas becas de investigación posdoctoral para los jóvenes matemáticos más prometedores, liberar a los profesores existentes de las pesadas cargas de la docencia y promover el intercambio de ideas entre las matemáticas y otros ámbitos. «Ha ocurrido con frecuencia que una tentativa de resolver un problema físico se ha traducido en la creación de una nueva rama de las matemáticas», le escribió a Simón Flexner, director del Instituto Rockefeller de Investigación Médica, instando a dicho instituto a ampliarlas becas que otorgaba a través del Consejo Nacional de Investigación estadounidense, centradas en la física y la química, para hacerlas también extensivas a la investigación matemática. [\[38\]](#) La propuesta de Veblen fue aceptada, y cuatro meses después volvió a dirigirse a Simón Flexner con una petición más ambiciosa. «La manera de dar otro paso adelante —sugería— es fundar y financiar un instituto matemático. El equipamiento físico de dicho instituto sería muy sencillo: una biblioteca, unos cuantos despachos y salas de conferencias, y una pequeña cantidad de aparatos tales como calculadoras.» Veblen estaba esbozando una utopía matemática, algo situado a medio camino entre las «mesas altas» [\[VI\]](#) de Cambridge y Oxford y los barracones de cálculo del Campo de Pruebas. «Los principales fondos de tal instituto —subrayaba— deberían emplearse en los salarios de hombres y mujeres cuyo oficio sea la investigación matemática.» [\[39\]](#)

Simón Flexner le contestó diciéndole que «me gustaría que en algún momento pudiera usted hablar con mi hermano, el señor Abraham Flexner, de la Junta General de Educación». [\[40\]](#) La Junta General de Educación de la Fundación Rockefeller, constituida por el Congreso estadounidense en 1903 para «la promoción de la educación en los Estados Unidos de América, sin distinción de raza, sexo o credo», se centraba principalmente en la enseñanza secundaria en los estados del Sur, pero tenía libertad para apoyar asimismo la enseñanza superior de cualquier tipo.

Simón y Abraham Flexner, respectivamente el quinto y el séptimo de nueve hermanos, habían nacido en Louisville, Kentucky, y acabaron en la Fundación Rockefeller por caminos muy diferentes. Su padre, Moritz Flexner, nacido en Bohemia en 1820, era un vendedor ambulante judío que emigró a Estados Unidos y se instaló en Louisville en 1854, donde empezó transportando sus mercancías a la espalda hasta que pudo ahorrar cuatro dólares para comprarse un caballo. Simón Flexner, nacido en 1863, dejó los estudios después del séptimo curso, tras lo cual fue a la deriva, sin un rumbo concreto, hasta que un trabajo en una droguería y una fiebre tifoidea que a punto estuvo de costarle la vida despertaron en él un interés por la microbiología que le llevaría a estudiar medicina y, a la larga, a convertirse en una autoridad sobre enfermedades infecciosas y en director del Instituto Rockefeller de Investigación Médica. Dicho instituto, establecido en una granja de 172 hectáreas en Princeton, y más tarde ampliado hasta ocupar 324 hectáreas, era la principal institución de investigación microbiológica de Estados Unidos.

Abraham Flexner, nacido en 1866 y el único de los Flexner a quien su familia envió a la universidad, tras la muerte de Moritz contó con el patrocinio de su hermano mayor, Jacob, para poder asistir a la Universidad Johns Hopkins, donde se graduó en 1886. Volvió a Louisville para enseñar latín y griego en el instituto homónimo, y más tarde abrió su propia escuela tras dejar bien sentada su reputación por suspender a una clase entera. Consideraba que los padres habían sido «lo bastante inteligentes como para comprender que su influencia sobre sus hijos se veía reforzada por el hecho de tener manga ancha con ellos», un principio que guiaba su filosofía educativa, aunque «sin duda así daremos rienda suelta a más de un chiflado inofensivo». [\[41\]](#)

«Flexner, un hombre pequeño y enjuto, como un halcón, con un maravilloso brillo en los ojos y una apariencia de modestia obviamente falsa que de inmediato te hacía sospechar la fuerza y el poder, la astucia y la inteligencia que se ocultaban detrás de su delicioso sentido del humor, no era un erudito

propiamente dicho —explicó Klári von Neumann—, pero tenía una mente muy práctica que concibió la idea de que debería haber un lugar donde unos hombres cuya única herramienta de trabajo fuera su cerebro pudieran dedicar el tiempo íntegramente a sí mismos, sin ninguna obligación de enseñar o cuidar a estudiantes; un lugar en un entorno de pensamiento relajado, un lugar donde pudieran hablar unos con otros si les apetecía, pero en el que, en caso contrario, se les dejara respetuosamente en paz.» [\[42\]](#)

En 1898, Abraham Flexner se casó con una antigua estudiante, Anne Crawford, que se convirtió en una dramaturga de éxito en Broadway (*The Marriage Game, All Soul's Eve, Mrs. Wiggs of the Cabbage Patch*), lo que permitió al matrimonio abandonar Louisville. Él vendió su escuela en 1905, trasladándose primero a Harvard, donde obtuvo un máster en filosofía en 1906, y luego a Alemania, donde escribió una crítica feroz sobre la enseñanza superior en Estados Unidos, publicada en 1908. Luego la Fundación Carnegie le encargó que elaborara un informe sobre la enseñanza médica del país, cuyos niveles eran aún peores. Para ello visitó alrededor de 155 facultades de medicina, y la exposición que hizo de sus deficiencias condujo al cierre de las dos terceras partes de todas las facultades de medicina de Estados Unidos. En 1911, John D. Rockefeller Jr. le encomendó la tarea de realizar un «riguroso y exhaustivo» estudio sobre la prostitución en Europa, un encargo que le llevó a veintiocho ciudades de doce países, de Londres a Budapest. Su informe, publicado en 1914, fue aclamado en Estados Unidos, y en Francia le valió el nombramiento de caballero de la Legión de Honor. En 1913 se incorporó a la Junta General de Educación de la Fundación Rockefeller, donde su influencia iría en aumento hasta que fue expulsado en 1928.

La propuesta de Veblen a los hermanos Flexner no halló una respuesta inmediata, pero a la larga la Universidad de Princeton recibió un millón de dólares de la Junta General de Educación, con la condición de que la universidad asegurara otros dos millones de dólares adicionales en fondos

compensatorios. Veblen aplazó el crédito a Woodrow Wilson y Henry Fine. «Yo no debía de pensar que hubiera que hacer demasiado hincapié en mi pequeño sueño de un instituto de matemáticas —admitiría más tarde Veblen—. La creación de un departamento de matemáticas en la Universidad de Princeton, que resultaba completamente desproporcionado en relación con la categoría de la universidad en otros ámbitos académicos, era algo que se había estado planteando bajo el mandato de H. B. Fine desde 1885.» [\[43\]](#)

Henry Burchard Fine, hijo de un pastor presbiteriano de la Pensilvania rural, había ingresado en la Universidad de Nueva Jersey en 1876 y se había hecho íntimo amigo de Woodrow Wilson mientras trabajaba como redactor en la revista de la universidad, *Princetonian*, cuando cursaba su último año. Tras obtener un doctorado en Leipzig en 1885 volvió a Princeton, y en 1903 fue nombrado decano por Woodrow Wilson. Fine escogió a Veblen para uno de los nuevos puestos de tutoría, ampliando así el núcleo del grupo matemático de Princeton. Contrató a jóvenes matemáticos prometedores, respaldó su investigación y no ponía objeciones cuando los llamaban de otras partes.

El hermano de Fine, John, fundó la Escuela Preuniversitaria de Princeton (en la parte este de la ciudad), solo para chicos, mientras que su hermana, May, fundó la Escuela Miss Fine (en la parte oeste), exclusivamente femenina. Cuando Wilson fue elegido presidente de Estados Unidos, Henry Fine rechazó su nombramiento como embajador en Alemania porque creía que había que dar prioridad a la enseñanza universitaria. Tanto Fine como Wilson eran amigos de un antiguo alumno, Thomas Davies Jones, que se ganaba muy bien la vida practicando la abogacía en Chicago, era accionista mayoritario en la empresa Mineral Point Zinc Company y disfrutaba de lo que él calificaba como una «riqueza superflua». La familia Jones puso los dos millones de dólares de fondos compensatorios exigidos por la contribución de la Junta General de Educación, más que suficiente para materializar las ambiciones de Veblen con respecto a las matemáticas en Princeton. Aunque Fine empezó

por asignar primero el dinero a otros departamentos, las cosas cambiaron repentinamente a finales de 1928.

En 1913, el antiguo sendero pedestre de los lenni-lenape que pasaba por Princeton se había convertido en parte de la primera autovía transcontinental que atravesaba Estados Unidos de costa a costa. La carretera Lincoln, que empezaba en Times Square, en la ciudad de Nueva York, y terminaba en un mirador en Punta Lobos, en San Francisco, seguía la ruta del antiguo Camino Real entre Princeton y Kingston, y en 1922 ya estaba totalmente pavimentada entre Nueva York y Filadelfia. A última hora de la tarde del 21 de diciembre de ese año, cuando estaba oscureciendo, una conductora que se dirigía a Kingston no vio a un ciclista de setenta años que giraba hacia la izquierda. El ciclista era Henry Fine, que enfilaba el camino de entrada a la escuela de su hermano. La conductora, la señora Cedric A. Bodine, cuyo marido era propietario de una funeraria en Kingston, fue detenida y acusada de homicidio involuntario, mientras que una serie de funerales, acompañados por el tañido de las campanas de Nassau Hall, lloraron la pérdida de Princeton durante todo el día de Navidad.

Thomas Jones y su sobrina Gwethalyn prometieron otros 500.000 dólares para construir (y mantener) un nuevo edificio de matemáticas en memoria de Fine. Cuando Veblen llegó a Princeton, los matemáticos compartían un puñado de pequeños despachos en el edificio Palmer Hall. «El principio con el que se diseñó Fine Hall —según Veblen— fue el de hacer un lugar tan atractivo que la gente prefiriera trabajar en los espacios que proporcionaba el edificio antes que en su propia casa.» ^[44] Jones, que consideraba que «nada es demasiado para Harry Fine», dio instrucciones a Veblen de que construyera un edificio que «cualquier matemático se resistiera a abandonar».

Medio millón de dólares (el equivalente a más de seis millones actuales) daban para mucho en 1929. El edificio Fine Hall se inauguró en octubre de 1931, sin que faltara ningún detalle: desde las duchas y el vestuario del

sótano («los miembros del departamento que deseen servirse de las cercanas pistas de tenis o del gimnasio no necesitarán volver a sus casas para vestirse») hasta la biblioteca del último piso, iluminada con luz natural, pasando por un atrio central y un corredor concebido para alentar a los matemáticos a mezclarse con los físicos del edificio adyacente, Palmer Hall. «Hay nueve despachos con chimeneas y quince sin ellas», explicó Veblen. «Sillas acolchadas y escritorios Davenport ocupan el lugar de las sillas y los escritorios [normales], y las aulas están equipadas siguiendo el criterio de los estudios privados», informaba la revista *Science*. Las salas estaban artesonadas de roble americano, con pizarras escamoteables y archivadores empotrados. En las ventanas de cristal emplomadas se grabaron las ecuaciones de la gravitación, la relatividad, la teoría cuántica, los cinco sólidos perfectos y las tres secciones cónicas, y la repisa de la chimenea central exhibía un grabado de una mosca atravesando la superficie de una sola cara de una banda de Moebius. «Cada pequeño picaporte, cada pequeña gárgola, cada pequeño trozo de vidriera que llevara una palabra grabada era supervisado personalmente por Veblen», señaló Herman Goldstine en 1985.

[\[45\]](#)

En abril de 1930, Veblen escribió a Albert Einstein pidiéndole permiso para inscribir una observación que este había hecho en Princeton en 1921 («Raffiniert ist der Herr Gott aber Boshaft ist Er nicht», traducido entonces como «Dios es listo, pero no deshonesto») sobre la chimenea de la sala común. «Fue su respuesta cuando alguien le preguntó si pensaba que los resultados de [Dayton C] Miller serían verificados —le explicaba Veblen—. Espero que no se oponga a que utilicemos ese “hijo de su ingenio”.» [\[46\]](#) Einstein le contestó que «el Señor» o «Dios» podría ser malinterpretado, y sugirió que lo que realmente quería decir era que «la Naturaleza oculta sus secretos en la sublimidad de su ley, no por astucia». [\[47\]](#)

Con la inauguración de Fine Hall y su designación para ocupar la cátedra de matemáticas Henry Burchard Fine (también financiada por la familia Jones),

la posición de Veblen, junto con la de las matemáticas, parecía asegurada en Princeton. Pero entonces tres desgracias —la Gran Depresión, el auge del nazismo en Europa y la inminencia de la Segunda Guerra Mundial— se combinaron con otro golpe de fortuna imprevisto para permitir que se cumpliera el sueño de Veblen de tener un instituto matemático autónomo.

En los tres siglos transcurridos desde que Henry Hudson explorara el estuario de Newark en 1609, el número de habitantes no nativos de dicha población había pasado de 61 colonos disidentes puritanos en 1666 a algo menos de 350.000 personas, casi duplicándose entre 1890 y 1910. Entre los recién llegados estaba Louis Bamberger, nacido en 1855, encima de la tienda de artículos de confección de su padre, en el seno de una familia de comerciantes judíos que habían emigrado a Baltimore desde Baviera en 1823. Tras empezar a trabajar en la tienda de su tío materno a la edad de catorce años, Louis ejerció de representante de compras en Nueva York, logrando reunir a duras penas el dinero necesario para adquirir las existencias de una firma de artículos de confección que había quebrado en 1892. Vendiéndolas todas en una tienda alquilada en un barrio deprimido de Newark, obtuvo los beneficios suficientes para abrir su propio negocio, tomando como socios a su hermana Carrie, al marido de esta, Louis Frank, y a un amigo íntimo de ambos, Félix Fuld.

En 1928, los grandes almacenes Bamberger's ocupaban más de 90.000 metros cuadrados, con 3.500 empleados y más de 32 millones de dólares en ventas anuales. Como una especie de Amazon.com de su época, Bamberger's ponía etiquetas con el precio en todas sus mercancías, garantizaba la devolución del dinero sin hacer preguntas, contaba con números telefónicos gratuitos, ofrecía seguridad en el trabajo, y sus instalaciones incluían una biblioteca pública para empleados. La sede central, un edificio de ocho plantas situado en Market Street, en Newark, incluía una emisora de radio de 500 vatios (WOR), e inauguró lo que hoy se conoce como el Desfile del día de Acción de Gracias de Macy's.

Los cuatro socios del negocio, que no tenían hijos, vivían juntos en las afueras de Newark, en South Orange, en una propiedad de doce hectáreas. Tras la muerte de Louis Frank en 1910, Carrie se casó con Félix Fuld, que a su vez murió en enero de 1929. Los dos Bamberger supervivientes decidieron que había llegado el momento de jubilarse, y en junio de 1929 negociaron con la empresa R. H. Macy & Co. la venta de los grandes almacenes, que se cerró en septiembre, solo seis semanas antes del desplome de la bolsa. Recibieron 146.385 acciones de Macy's, cuya cotización alcanzó un máximo de 225 dólares el 3 de noviembre, antes de desplomarse hasta un mínimo de 17 dólares en 1932. Los Bamberger, que se llevaron 11 millones de dólares de beneficios en efectivo, repartieron un millón entre 225 empleados que habían trabajado en la empresa quince años o más, y reclutaron a su jefe de contabilidad, Samuel D. Leidesdorf, y a su asesor jurídico, Herbert H. Maas, para que les ayudaran a decidir qué hacer con el resto.

«Dado que habían prosperado tanto en Newark, estaban decididos a que todo lo que hicieran beneficiara a esa ciudad o al estado de Nueva Jersey», recordaba Maas en 1955. Su intención era fundar una universidad médica, dando preferencia a los profesores y alumnos judíos, en su propiedad de South Orange. A Maas y Leidesdorf se les remitió a Abraham Flexner, a quien fueron a ver en su despacho de la Fundación Médica Rockefeller en diciembre de 1929. «Lo que nos dijo fue que en Estados Unidos ya había bastantes facultades de medicina», recordaba Maas. Flexner, que en 1925 había tildado la universidad estadounidense de «unos grandes almacenes de la educación» en un artículo publicado en *Atlantic Monthly*, aprovechó su oportunidad. «Hacia el final de nuestra primera conversación —relató Maas—, nos preguntó: "¿Alguna vez han tenido un sueño?".» [\[48\]](#)

Flexner recuerda que un día estaba «trabajando tranquilamente cuando sonó el teléfono y me preguntaron si podía ver a dos caballeros que deseaban hablar conmigo de los posibles usos que podía dársele a una considerable

suma de dinero». ^[49] El llevaba muchos años predicando sobre las deficiencias de la enseñanza superior, y cuando Maass y Leidesdorf fueron a verle tenía las pruebas de su próximo libro, *Universities: American, English, Germán*, encima de su escritorio. Sus invitados se llevaron una copia al marcharse.

El libro, que ampliaba las conferencias que había impartido Flexner en el centro Rhodes House de la Universidad de Oxford en 1928, proporcionaba un panorama deprimente de la enseñanza superior en Estados Unidos, concluyendo con un llamamiento a «la creación inmediata de una escuela o instituto de enseñanza superior» donde «se deje a personas maduras, animadas por objetivos intelectuales, perseguir sus propios fines a su propia manera... sean graduados universitarios o no». Flexner argumentaba que aquella «sociedad libre de eruditos» debía ser gobernada por estudiosos y científicos, y no por administradores, y hasta «habría que prohibir el término *organización*)». ^[50]

Maas se quedó «fascinado» y Leidesdorf, «impresionado». Se organizaron una serie de almuerzos de trabajo con los Bamberger, y antes de que Louis y Carrie partieran hacia su acostumbrado retiro invernal en el hotel Biltmore de Phoenix, Arizona, Flexner les redactó un codicilo con sus últimas voluntades y testamentos. «Tras haber realizado una extensa revisión de la materia, guiada por un experto asesoramiento —escribió en su nombre—, en este momento opinamos que el mejor servicio que podemos dar a la humanidad es crear y financiar una escuela de posgrado que estará... libre de todos los impedimentos que hoy rodean a las escuelas de posgrado debido a las actividades de docencia de pregrado a ellas vinculadas.» ^[51]

Los Bamberger todavía estaban planteándose cautelosamente su decisión, pero no había indecisión alguna por parte de Flexner. Este reanudó el contacto con Oswald Veblen, que se hallaba inmerso en la construcción de Fine Hall. Sintiendo que algo se movía, Veblen informó a Flexner sobre los progresos que se estaban haciendo en Princeton, y añadió: «Creo que mi

instituto matemático, que aún no ha tenido una acogida favorable, puede resultar uno de los próximos pasos». Flexner mordió el anzuelo. «¿Qué harían los eruditos y científicos estadounidenses si algún colega o alguna fundación creara una institución de estudios “segura”? —preguntaba—. ¿Es necesario colgar la piedra de molino de la universidad al cuello de la escuela de posgrado?» [\[52\]](#)

El 20 de mayo de 1930, con Flexner en el cargo de primer director con un sueldo de 20.000 dólares al año (equivalentes a más de 250.000 actuales), se firmó un acta de constitución para «la creación, en o en los alrededores de Newark, Nueva Jersey, de un instituto de estudios avanzados y de promoción del conocimiento en todos los ámbitos». Los Bamberger se comprometieron a aportar cinco millones de dólares para empezar. «Que nosotros sepamos —anunciaban en su primera carta con instrucciones a los administradores—, no hay en Estados Unidos ninguna institución en la que los científicos y eruditos se dediquen al mismo tiempo a la investigación seria y a la formación de estudiantes de posgrado competentes de manera completamente independiente y alejada tanto de los encantos como de las diversiones inseparables de una institución cuyo principal interés es la docencia de pregrado.» [\[53\]](#)

Durante los dos primeros años, el instituto, concebido por Abraham Flexner como «un paraíso para los eruditos, que, como los poetas y los músicos, se han ganado el derecho a hacer lo que les plazca», [\[54\]](#) existió solo sobre el papel. Una cosa era criticar la enseñanza superior, como había estado haciendo Flexner durante veintidós años, y otra sustituirla por algo distinto. Crear un paraíso, incluso disponiendo de cinco millones de dólares en plena Gran Depresión, era algo más fácil de decir que de hacer.

Flexner pasó seis meses consultando con destacados intelectuales y administradores docentes de toda Europa y Estados Unidos. El concepto de «paraíso» variaba de una persona a otra: los clasicistas aconsejaban a Flexner empezar por los clásicos, los físicos por la física, los historiadores por

la historia y los matemáticos por las matemáticas. El biólogo británico Julian Huxley aconsejaba la biología matemática, argumentando que «en biología existe una lamentable falta de apreciación general de un abundante trabajo sistemático y descriptivo». Los Bamberger querían empezar por la economía y la política, lo cual ellos esperaban que contribuiría «no solo a un conocimiento de estas materias, sino, en última instancia, a la causa de la justicia social, que llevamos en lo más profundo del corazón». [\[55\]](#)

Algunos pensaban que el instituto debía hallarse estrechamente vinculado a una universidad; otros, que debía estar completamente desligado de ellas. «Es la multiplicidad de sus objetivos lo que hace de una universidad estadounidense un lugar tan triste para un erudito —aconsejaba Veblen—. Si puedes resistir todas las tentaciones de realizar las otras cosas buenas que podrían intentarse, tu aventura será un éxito.» [\[56\]](#)

¿Acaso era posible siquiera un paraíso para eruditos? El historiador Charles Beard predijo «la muerte —muerte intelectual—, [que fue] el final de más de un monasterio bien surtido en la Edad Media». El futuro juez del Tribunal Supremo Félix Frankfurter, que garabateó «NOTICIAS DEL PARAÍSO. No va conmigo» en una carta de Flexner, señaló que, «para empezar, la historia natural del paraíso no resulta demasiado alentadora como precedente. Aparentemente era un lugar excelente para una persona, pero resultó fatal hasta con dos». [\[57\]](#)

Flexner, que había repartido unos 600 millones de dólares en el curso de su asociación con la Fundación Rockefeller, creía que la mayor parte de la financiación docente llevaba aparejados demasiados compromisos. Esta era su oportunidad de probar algo distinto. «Yo debía pensar en un círculo, llamado Instituto de Estudios Avanzados —reflexionaba en 1931—. Dentro de él debía crear, una a una, en la medida en que hubiera hombres y fondos disponibles, y solo entonces, una serie de escuelas o grupos: una escuela de matemáticas, una escuela de economía, una escuela de historia, una escuela de filosofía, etc. Las “escuelas” pueden cambiar de vez en cuando; en

cualquier caso, las designaciones son tan amplias que fácilmente pueden cubrir un grupo de actividades hoy, y otro grupo completamente distinto con el paso del tiempo.» [\[58\]](#)

«El instituto es, desde el punto de vista de la organización, la cosa más sencilla y menos formal imaginable —explicaba—. Cada escuela está compuesta de un grupo permanente de profesores y un grupo de miembros que cambian todos los años. Cada escuela gestiona sus propios asuntos como le place; dentro de cada grupo, cada individuo dispone de su tiempo y energía como le place... Los resultados de dejar que el individuo y la sociedad cuiden de sí mismos.» [\[59\]](#) Flexner creía que el objetivo de la investigación debía ser el conocimiento, y no el beneficio. «Históricamente, los descubrimientos científicos que en última instancia han reportado beneficios a la sociedad económica o socialmente han sido realizados por hombres, como Faraday y Clerk Maxwell, que nunca pensaron para nada en el posible beneficio financiero de su trabajo», escribió a los directores de *Science* en 1933, protestando contra las universidades que empezaban a solicitar patentes de sus investigaciones. Eso no significaba que no cupiera esperar beneficios de la investigación pura. En un ensayo publicado en *Harper's Magazine* y titulado «The Usefulness of Useless Knowledge» («La utilidad del conocimiento inútil»), Flexner describía el pensamiento subyacente al Instituto de Estudios Avanzados y argumentaba que «la búsqueda de esas satisfacciones inútiles resulta ser inesperadamente la fuente de la que se obtiene una utilidad jamás soñada». [\[60\]](#)

Después de considerar la posibilidad de una escuela de economía, tanto para complacer a los Bamberger como porque «la plaga está sobre nosotros, y no se pueden estudiar bien las plagas cuando ya han seguido su curso», Flexner decidió finalmente empezar por las matemáticas. «Las matemáticas se hallan particularmente bien adaptadas a nuestro comienzo —les explicó a los administradores—. Los matemáticos tratan con conceptos intelectuales que ellos investigan por sí mismos, pero estimulan a los científicos, filósofos,

economistas, poetas, músicos... aunque sin ser en absoluto conscientes de la menor necesidad o responsabilidad de hacerlo.» Había asimismo ventajas prácticas en este ámbito de estudio: «Requiere poco: unos cuantos hombres, unos cuantos alumnos, unas cuantas salas, libros, pizarras, tiza, papel y lápices». [\[61\]](#)

Pero había, además, otros dos motivos para empezar por las matemáticas. Flexner necesitaba causar una buena primera impresión, y la evaluación del talento en matemáticas resultaba menos subjetiva que en otros ámbitos. Delegó en Veblen la tarea de seleccionar a los candidatos, explicándoles a los administradores que «los matemáticos, como las vacas en la oscuridad, me parecen todos iguales». El segundo era que Flexner sabía que, para satisfacer a los Bamberger y asegurar el saldo de su patrimonio, tenía que proporcionarles resultados inmediatos. Existía ya una utopía matemática disponible: Fine Hall. ¿Podía Flexner vendérsela a los Bamberger? «Todo el que quiere un profesor de matemáticas viene de compras a Princeton —les escribí cuando estaban en Arizona—, del mismo modo que la gente que sabe lo que quiere acude a L. Bamberger & Company, en Newark.» [\[62\]](#)

Los Bamberger seguían siendo, tal como expresaban en su carta original, «conscientes de nuestras obligaciones para con la comunidad de Newark», y seguían teniendo la intención de que el instituto se emplazara «en los alrededores de dicha ciudad». South Orange estaba «en los alrededores de Newark», pero ¿podía decirse lo mismo de Princeton? «El señor Bamberger y la señora Fuld pensaban tan claramente en Newark y su entorno inmediato que yo dudaba en adoptar cualquier otro punto de vista a menos que primero modificaran su carta», afirmó Maass. «Se incluye un mapa de carreteras actual del estado de Nueva Jersey —escribió Edgar Bamberger, un sobrino de Louis que se había unido a la junta directiva—. Observarán que se han dibujado círculos en radios de 10 millas [unos 16 kilómetros], tomando South Orange Village como centro. Verán que Princeton está aproximadamente a 35-40 millas [56-64 kilómetros] por carretera de South

Orange. Mis más cordiales saludos.» Flexner, renuente a enfrentarse a los Bamberger directamente, empezó a sustituir «en los alrededores de Newark» por «en el estado de Nueva Jersey» en los documentos que hizo circular con vistas a la creación del nuevo instituto. Los Bamberger, persuadidos por su insistencia en que «podría resultar difícil conseguir profesores capacitados dispuestos a venir a Newark», acabaron por dar su consentimiento. [\[63\]](#)

El 5 de junio de 1932, Oswald Veblen fue nombrado titular de la primera cátedra (con efecto a partir del 1 de octubre de 1932), seguido de Albert Einstein (con efecto a partir del 1 de octubre de 1933). Luego se les unirían John von Neumann, Hermann Weyl y James Alexander en 1933, y Marston Morse en 1934. «Debía tener en cuenta la importancia de formar un grupo cuyos miembros no envejecieran todos al mismo tiempo —le explicó Flexner a Veblen a finales de 1932—. Usted y Einstein están al principio de la cincuentena, Weyl hacia la mitad de la cuarentena y Alexander al principio de la cuarentena, de modo que nos hemos protegido de un destino como el que le aconteció al carruaje del diácono, [\[VIII\]](#) que, como recordará, se cayó de repente a pedazos después de no haber mostrado el menor signo de deterioro durante cien años.» [\[64\]](#) Cuando fue contratado en enero de 1933, Von Neumann, por su parte, acababa de cumplir los veintinueve años. La Universidad de Princeton aceptó proporcionar una sede temporal al nuevo instituto en el edificio Fine Hall.

En abril de 1933 los nazis iniciaron su purga de las universidades alemanas, de modo que el éxodo de matemáticos europeos que siguieron el ejemplo de Einstein y se dirigieron a Estados Unidos se inició justo cuando el Instituto de Estudios Avanzados abría sus puertas. «Los acontecimientos en Alemania van de mal en peor; hoy los periódicos hablaban de la expulsión de 36 profesores de universidad, la mitad del cuerpo docente de matemáticas y física de Gotinga —le informaba Von Neumann a Flexner el 26 de abril—. ¿Adónde llevará esto sino a la ruina de la ciencia en Alemania?» [\[65\]](#)

Flexner, los Bamberger y Veblen habían concebido un refugio frente al entumecimiento mental derivado de la burocracia departamental de las universidades estadounidenses, no frente al desastre humanitario del que su santuario ofrecía ahora una vía de escape. «El Instituto era un faro en la creciente oscuridad —escribiría el director Harry Woolf en 1980, reflexionando sobre los cincuenta primeros años de la institución—, una puerta de entrada a una nueva vida, y para unos pocos un último lugar donde seguir trabajando y transmitir a otros el estilo y las técnicas de la gran enseñanza de la otra orilla.» [\[66\]](#) Veblen asumió la presidencia del Comité de Emergencia para Eruditos Alemanes Desplazados de la Fundación Rockefeller, utilizando el dinero de Rockefeller y la promesa de puestos temporales en el Instituto para contrarrestar las desgracias paralelas del antisemitismo en Europa y la depresión en Estados Unidos.

El problema era cómo encajar a los eruditos desplazados en un mercado laboral cada vez más reducido sin provocar ese mismo antisemitismo del que dichos eruditos intentaban escapar. Estados Unidos ofrecía visados de residencia permanente a profesores y catedráticos, pero, sin suficientes vacantes para los candidatos estadounidenses, encontrar puestos para los refugiados, especialmente en Princeton, era una tarea ardua. La invitación a unirse al Instituto de Estudios Avanzados permitía a la Universidad de Princeton, históricamente reacia a los estudiantes y profesores judíos, aprovechar las ventajas de tener a científicos refugiados sin incurrir en ninguno de los costes asociados. La llegada de Einstein ayudó a abrir la puerta. Pese a su papel en la guerra de Independencia estadounidense, Princeton se había convertido en uno de los enclaves más conservadores del país, «una pequeña aldea pintoresca y ceremoniosa de endebles semidioses sobre zancos», como Einstein se lo describiría a la reina de Bélgica en 1933.

[\[67\]](#)

Veblen no solo presionaba para tener más puestos académicos, sino también más tierra: la suficiente para crear un refugio para la fauna además de un

refugio para las ideas. «No hay ninguna institución docente en Estados Unidos que al principio no cometiera el error de adquirir demasiado poca tierra, en lugar de demasiada», le escribió a Flexner, instándole a la adquisición «de un terreno suficientemente grande, que así se mantendría libre de intrusos desagradables». Flexner, que prefería invertir en becas antes que en bienes inmuebles, se fue dejando persuadir poco a poco. «En este momento tengo en mente ir a Princeton tranquilamente durante una semana o así con el propósito de familiarizarme con la situación general, ya que ello puede ayudarnos en nuestra decisión final —informaba en octubre de 1932—. Me gustaría alejarme de las actividades de pregrado y acercarme a las de posgrado.» [\[68\]](#)

Una vez que se propagó el rumor de que el Instituto buscaba sede, ya no hubo vuelta atrás. «El hecho de que nosotros proponemos emplazarlo en los alrededores de Princeton es ya un asunto del dominio público, hasta el punto de que, según creo, estamos siendo víctimas de un claro incremento de los precios, y haríamos bien en intentar tomar una decisión cuanto antes», le aconsejó Maass a Flexner en noviembre de 1932. «Si vamos a tener inflación, ¿no sería mejor acelerar la cuestión del terreno? —argumentó Veblen—. Al menos dos de los lugares propuestos me parecen bien.» Pese a las quejas de los Bamberger con respecto a «la política de adquirir tanta tierra para una institución que proclamaba no su tamaño, sino su nivel superior», Veblen insistió, y en 1936 se habían comprado unas 104 hectáreas por un total de 290.000 dólares, incluidas las 80 hectáreas de Olden Farm. [\[69\]](#) La propiedad incluía Olden Manor (la antigua vivienda de William Olden, ahora residencia del director), un grupo de casas de labriegos situadas al final de Olden Lañe y un amplio granero.

«Creo que por ahora sería prudente llevar el asunto con discreción —le escribió Flexner a Bamberger en octubre de 1935—. Aunque no deseo criticar ni al señor Maas ni al profesor Veblen, creo que existe cierto peligro de que ambos se muestren demasiado entusiastas con respecto a la adquisición de

terreno adicional.» Los Bamberger respondieron, como Maas informaría a Flexner en diciembre, haciendo de «Santa Claus y pagando el terreno». [\[70\]](#) Durante los años siguientes, Veblen llevó a cabo una serie de duras negociaciones con terratenientes atrapados por la depresión de cara a ampliar las propiedades del Instituto a un total de 247 hectáreas, incluido el terreno colindante con Stony Brook que hoy constituye el bosque de la institución. «He recorrido la nueva propiedad del Instituto varias veces dado que se ha formado una capa dura sobre la nieve —informaba a comienzos de 1936—. Esto le permite a uno explorar los bosques cercanos al arroyo mucho mejor de lo que podrá hacerse cuando el suelo se reblandezca de nuevo.» [\[71\]](#) Veblen, siempre aficionado a los bosques, se las arregló para que en abril de 1938 hubiera cuarenta mil plántones de hoja perenne del vivero estatal, situado en el parque de Washington Crossing, plantados en la propiedad del Instituto.

En 1937, después de que fracasaran las negociaciones que habrían permitido que la Universidad de Princeton trasladara la sede social del club de golf de Springdale a la propiedad del Instituto y que este último ocupara dicho emplazamiento, en College Road, se decidió iniciar la construcción de la sede central del Instituto en medio de Olden Farm, en un terreno llano situado más o menos a mitad de camino entre Olden Manor y Stony Brook. Los Bamberger, durante largo tiempo reacios a gastar dinero en edificios, cambiaron de opinión. Puede que contribuyera a ello el hecho de haber sido desairados por la vieja guardia de la universidad.

Fuld Hall fue una versión ampliada de Fine Hall, trasplantado lejos de la universidad y con espacio para crecer. Los matemáticos jugaban al ajedrez en la sala común, mientras que los administradores jugaban a las cartas en las salas de juntas del piso de arriba. «Todos eran amigos, viejos amigos del señor Bamberger —recordaba Herman Goldstine—. Maass era su abogado y Leidesdorf era su compañero de pináculo y su contable, y por eso estaban en

la junta. Esa gente como Lewis Strauss eran todos una especie de magnates comerciales judíos, por así decirlo.» [\[72\]](#)

El año académico del Instituto, dividido en dos períodos, se extendía desde octubre hasta abril, con una generosa pausa invernal en medio y ningún deber ni responsabilidad que no fuera estar como residente en el Instituto durante el curso, que equivalía aproximadamente a la mitad del año. «La otra mitad del año el personal estará técnicamente de vacaciones —se informó en 1933—, pero el doctor Flexner ha comprobado que quienes están ocupados en la investigación a menudo hacen mejor su trabajo mientras están “de vacaciones”.» Flexner creía en una remuneración generosa para el profesorado permanente, y señaló que, aunque la riqueza pudiera invitar a las distracciones del trabajo académico, «de ello no se sigue que, porque la riqueza pueda dañarle, la relativa pobreza le ayude». Esta generosidad, sin embargo, no se hacía extensiva a los profesores visitantes, «porque con estipendios elevados los miembros serán renuentes a marcharse». Pese a la Depresión y a la guerra, los salarios del cuerpo docente seguirían subiendo. «Su conciencia ha llevado al profesor Earle, que está sumamente agradecido por su aumento de sueldo, a plantear la delicada cuestión de si los aumentos de sueldo que recientemente hemos hecho y estamos haciendo son legales», anotó Frank Aydelotte, el sucesor de Flexner, en 1945. [\[73\]](#)

Los profesores de la Universidad de Princeton hablaban del «Instituto de Salarios Avanzados», mientras que los estudiantes de posgrado de la universidad se referían a él como el «Instituto de Almuerzos Avanzados». En cualquier caso, el Instituto era la materialización no reconocida del llamamiento original de Thorstein Veblen (en 1918) en favor de «un establecimiento central libremente financiado donde profesores y estudiantes de todas las nacionalidades, tanto estadounidenses como del resto de los países, puedan realizar el trabajo que hayan escogido como invitados de la comunidad académica estadounidense en su conjunto». [\[74\]](#) Pese a las pretensiones «paradisíacas» de Flexner, los matemáticos de Veblen nunca

recuperarían del todo la camaradería informal que había imperado en los barracones de cálculo de Aberdeen o los primeros días de Fine Hall.

El propio cargo de Flexner resultó efímero. Empezó decidido a evitar las «aburridas y cada vez más frecuentes reuniones de comités, grupos o el propio cuerpo docente. Una vez iniciada, esta tendencia hacia la organización y la consulta formal no podía detenerse». ^[75] Sin embargo, después de varias decisiones inoportunas por su parte, incluidos dos nombramientos permanentes a la infausta Escuela de Economía y Política, el profesorado celebró una serie de reuniones que bordearon la rebelión. Flexner dimitió el 9 de octubre de 1939 y fue sustituido (ignorando cualesquiera ambiciones por parte de Veblen) por su suplente, Frank Aydelotte, un colega de Louisville que se había convertido en rector de la Universidad de Swarthmore (y en un influyente simpatizante cuáquero) y que, al no pertenecer a ningún bando, era capaz de mantener a raya tanto a los científicos como a los humanistas.

Pese a su apoyo vitalicio a la erudición, Flexner nunca tuvo pretensiones de pertenecer a dicho club. «Por desgracia, yo nunca he sido un erudito, ya que dos años en Johns Hopkins, entre 1884 y 1886, no dan para serlo; aunque sí dan, y de hecho dieron, para sentir una reverencia hacia ella que ahora dejo a buen recaudo con usted», le escribió a Aydelotte al traspasarle el cargo de director en 1939. Flexner se sentía profundamente herido por la rebelión del cuerpo docente, que le había echado a empujones. Von Neumann permaneció neutral, y nunca olvidó que había sido el salvavidas de Flexner el que le había permitido permanecer en Estados Unidos. El sentimiento era mutuo. «La actitud de Flexner hacia Johnny era realmente divertida de observar —contó Klári—. Era una mezcla de la de un tío con su sobrino favorito y la de un domador de circo exhibiendo los magníficos trucos que le ha enseñado a su león.» ^[76]

Aydelotte, que había sido administrador del Instituto desde el principio, ejerció la dirección con gran diplomacia durante la Segunda Guerra Mundial, concediendo permiso a quienes, como Von Neumann, Veblen y Morse,

participaron en el esfuerzo bélico, al tiempo que mantenía un refugio para quienes no lo hicieron. «En estos días sombríos en que se apagan las luces en toda Europa y en que la única iluminación que tenemos en tal apagón probablemente sea, en sentido tanto figurado como literal, la procedente de las ciudades en llamas a causa de las bombas incendiarias, algunos hombres podrían cuestionar la justificación del gasto de fondos en estudios humanistas, en epigrafía y arqueología, en paleografía e historia del arte», escribió Aydelotte en su informe de la dirección de mayo de 1941. No podía anunciar que el Instituto trabajaba ya entre bastidores para apoyar el desarrollo de bombas atómicas, pero sí anunció el firme apoyo de su organismo al «estudio crítico de esa tradición organizada que llamamos “civilización” y cuya preservación es el propósito de esta guerra. No podemos —y a largo plazo no vamos a hacerlo— luchar por lo que no entendemos».

[\[77\]](#)

A Aydelotte le sucedió J. Robert Oppenheimer en 1947, que ejerció el cargo hasta 1966. Mientras que Flexner y Aydelotte habían sido ambos profesores cualificados y administradores docentes, pero no científicos, Oppenheimer era tanto un científico de primer orden como un experto administrador, además de un buen conocedor de la historia y el arte. El poeta T. S. Eliot, que había sido invitado por Aydelotte y que mencionaría *The Cocktail Party* (1950) como su única «publicación relacionada con la residencia en el IAS», llegó al «hotel intelectual» de Oppenheimer como el primero de los denominados «visitantes del director» para pasar allí el trimestre de otoño de 1948. [\[78\]](#)

La Escuela de Matemáticas se inauguró en 1933, seguida de la de Estudios Humanistas en 1934 y la de Economía y Política en 1935. La Escuela de Estudios Históricos (que fusionaba a humanistas y economistas) se formó en 1949, mientras que la de Ciencias Naturales surgió como una rama de la de Matemáticas en 1966. La Escuela de Ciencias Sociales fue creada en 1973. Más o menos una vez cada década, se había intentado hacer entrar de

matute a un biólogo en el Instituto, empezando con J. B. S. Haldane en 1936. «Haldane estaba interesado en las aplicaciones de las matemáticas a los fenómenos biológicos —le explicó Veblen a Flexner, argumentando que traer a un biólogo no requeriría poner en marcha una nueva escuela—. El ámbito exacto en el que proponía realizar las aplicaciones era la genética.»

[76] Pero Haldane rehusó la invitación, alegando que se «iba a España a ayudar en la defensa de Madrid contra un ataque con gas con el que amenazaban los invasores alemanes e italianos». [79] Sesenta años después, en 1999, se creó un grupo temporal de biología teórica, y más tarde, en 2005, un Centro de Biología de Sistemas con carácter permanente.

Dos institutos distintos han logrado coexistir. «Uno, que fue más adoptado por la escuela histórica —según Deane Montgomery—, consiste en un grupo de grandes eruditos que de vez en cuando se comunican con la opinión pública y que tienen grandes ideas. Estos tienden a concebirlo más bien como una beca vitalicia para sí mismos.» Veblen, agregó Montgomery, «decía que él, Einstein y Weyl no lo veían así». [80] El otro instituto era el formado por el grupo de visitantes que cambiaban todos los años, en su mayoría jóvenes al principio de sus carreras, entremezclados con algún que otro erudito ya consolidado que se tomaba un año sabático. Benoît Mandelbrot, que llegó por invitación de Von Neumann en el otoño de 1953 para iniciar un estudio sobre las distribuciones de frecuencias de palabras (muestreando la incidencia de *probablemente*, *sexo* y *África*) que desembocaría en el campo denominado de los «fractales», señala que el Instituto «tenía un objetivo claro y una estructura más bien extraña en la que agrupar a la gente: cuerpos celestes en régimen de residencia, y luego nadie, nadie, nadie, y luego, sobre todo, gente joven. Ahora tiene una distribución mucho más equilibrada en cuanto a la edad y la fama». Mandelbrot se llevaba a las mil maravillas con Von Neumann, y admiraba el modo en que este «había reunido a una serie de personas que no formaban parte de los casilleros de Princeton», aunque a la vez observaba que entre

los eruditos visitantes «todos los demás tenían la terrible sensación de que, si ese podía ser el mejor año de su vida, ¿por qué no resultaba más agradable?». ^[81] La liberación de las responsabilidades cotidianas se producía al precio de una expectativa generalizada y a veces asfixiante de tener que hacer algo extraordinario durante el año sabático.

Aunque fuera Veblen quien «concibió todo el proyecto», en opinión del físico P. A. M. Dirac, permanecía en segundo plano, tal como había hecho en el Campo de Pruebas. En 1959, Oppenheimer escribió a Veblen pidiéndole permiso para cambiar el nombre de una de las calles privadas del Instituto, un pequeño callejón sin salida desde el que se dominaba el parque del antiguo campo de batalla, que pasaría de llamarse Pórtico a Veblen Lañe. Las notas de Oppenheimer dan fe de la respuesta de Veblen: «Ha dicho que no. Que prefiere que esperemos hasta que se muera». ^[82] Hoy la calle se llama Veblen Circle.

En la época en que se fundó el IAS, las matemáticas estaban divididas en dos reinos: el de las matemáticas puras y el de las aplicadas. El Instituto pretendía centrarse en las puras y excluir las aplicadas, pero ya a partir de Einstein y Von Neumann esas barreras comenzaron a derrumbarse. «La Escuela de Matemáticas tiene un establecimiento permanente que está dividido en tres grupos, uno integrado por las matemáticas puras, otro integrado por físicos teóricos y un tercero integrado por el profesor Von Neumann», explicó Freeman Dyson a un comité de evaluación en 1954. ^[83] Empezaba a tomar forma un tercer reino de las matemáticas. El primero era el reino de las abstracciones matemáticas por sí solas y el segundo, el dominio de los números aplicados, bajo la guía de los matemáticos, al mundo real. En el tercer reino, el universo digital, los números adquirirían vida propia.

* * * *

Capítulo 4

Neumann János

Somos los marcianos, que hemos venido a la Tierra a cambiarlo todo, y nos tememos que no seremos bien recibidos. Así que intentamos mantenerlo en secreto, intentamos parecer estadounidenses... pero no pudimos hacerlo a causa de nuestro acento. De modo que nos instalamos en un país del que nadie ha oído hablar, y ahora nos proclamamos húngaros.

EDWARD TELLER, 1999

John-Louis Von Neumann (Margittai Neumann János Lajos para sus compatriotas húngaros), el primogénito de Max Neumann y Margit (Gitta) Kann, nació en Budapest el 28 de diciembre de 1903, el año en que Oswald Veblen obtuvo su doctorado. Tanto la nación húngara como la ciudad de Budapest y la familia Von Neumann estaban en auge.

El establecimiento de la monarquía dual austro húngara en 1867 había traído consigo un intervalo de paz y prosperidad, junto con la desaparición de las restricciones contra los judíos, en un país conocido sobre todo, según Klári von Neumann, «por la gallardía de sus hombres, la belleza de sus mujeres y, por último, aunque no en último lugar, por su historia desesperadamente infeliz y desafortunada». ^[84] Cuando las ciudades de Buda y Pest, situadas en orillas opuestas del Danubio, se fusionaron en 1873, la nueva capital húngara, que ahora rivalizaba con Viena como centro cultural y económico del Imperio austrohúngaro, se convirtió en la urbe de más rápido crecimiento

de Europa. En la Budapest del joven Neumann János había más de seiscientos cafés, tres de los institutos de enseñanza más rigurosos del mundo y la primera red de metro de todo el continente europeo.

Max Neumann, nacido como Neumann Miksa en 1873, creció en Pees, al sur de Budapest, y se convirtió en abogado y banquero de inversiones, especializándose en la combinación de conocimiento técnico y recursos financieros que impulsó la modernización de Hungría en los años anteriores a la Primera Guerra Mundial. Su matrimonio le emparentó con la familia de Jacob Kann, cuya empresa de suministro de maquinaria agrícola, Kann-Heller (originariamente proveedora de piedras de molino y más tarde pionera, al estilo de la estadounidense Sears-Roebuck, de la venta directa), ocupaba la planta baja de un prominente edificio situado en el número 62 de la calle Váci de Budapest. Max y Margit se trasladaron a un piso de dieciocho habitaciones de la última planta, rodeados de las tres hermanas de Margit y sus familias, instaladas en el resto de las dos plantas superiores, más una rama de la familia Heller, que vivía debajo, en la segunda planta. Max encargó un vitral para conmemorar el nacimiento de sus hijos, donde John (nacido en 1903) aparecía simbolizado por un gallo, Michael (nacido en 1907), por un gato y Nicholas (nacido en 1911), por una liebre. «Cuando volvimos a visitar Budapest por primera vez, alrededor de 1983 —explicó Nicholas—, todavía había un régimen comunista, pero los porteros se mostraron amables y encantados de recibirnos, y el vitral aún seguía allí.»

[\[85\]](#)

En 1913, el emperador Francisco José concedió un título hereditario a Max por sus «servicios meritorios en el ámbito financiero». El apellido de la familia fue cambiado a Margittai Neumann, o Von Neumann en su forma germanizada. Tras la muerte de Max, en 1928, sus tres hijos se convirtieron al catolicismo («por conveniencia, no por convicción», dijo Nicholas) y emigraron a Estados Unidos. Michael recuperó el apellido Neumann, mientras que Nicholas adoptó la forma Vonneumann. John conservó el apellido Von

Neumann, al tiempo que seguía siendo simplemente Jancsi para sus amigos húngaros y Johnny para los estadounidenses. [\[86\]](#)

«No cabe duda alguna de que la nobleza de 1913 no era la misma clase de nobleza que existía en la época feudal», explicó Nicholas, que en 1942 se alistó en el ejército estadounidense, a lo que luego le siguieron varios años en la Oficina de Servicios Estratégicos (OSS, por sus siglas en inglés), antes de dedicarse a hacer carrera en el ámbito del derecho de patentes. «Si [mi padre] lo compró o no [el título] era algo que no venía al caso. Fue una recompensa por sus logros en la vida económica de Hungría. Aquella no era la época feudal.» Lo importante, subrayó Nicholas, es que «mi padre creía en la vida de la mente». [\[87\]](#)

Max instaló una biblioteca privada donde John leyó vorazmente mientras crecía, devorando íntegramente los 44 volúmenes de la historia universal de Wilhelm Oncken *Allgemeine Qeschichte in Einzeldarstellungen*, que citaría detalladamente, de memoria, durante el resto de su vida. Estudió los mil años del Imperio bizantino, un tema que no dejó de interesarle ni siquiera cuando, al final de su vida, sus habilidades matemáticas se desvanecieron. «Su poder y organización [del imperio] le fascinaban», recuerda Stan Ulam. Según Herman Goldstine, «era capaz, una vez leído un libro o un artículo, de citarlo literalmente», incluso después de transcurridos varios años. «En cierta ocasión puse a prueba su capacidad pidiéndole que me dijera cómo empezaba *Historia de dos ciudades*. Dicho lo cual, sin la menor pausa, de inmediato comenzó a recitar el primer capítulo y siguió hasta que le pedí que parara.» [\[88\]](#)

La infancia feliz de Von Neumann constituye un agudo contraste con los conflictos mundiales que dominarían su vida adulta. Los niños deambulaban libremente entre las viviendas adyacentes, mientras fuera se cernían las nubes de la guerra. «Uno de los juegos a los que jugaban los niños, este bajo la dirección de John —recordaba Nicholas—, consistía en “batallas” dibujadas de manera simbólica o abstracta en papel milimetrado, con

castillos, carreteras, fortificaciones, etc., representados rellenando o uniendo los cuadrados del papel milimetrado. El objetivo era demostrar y poner en práctica estrategias antiguas. No había ningún contenido emotivo en la asignación de los papeles de los participantes en la confrontación, o de los vencedores y vencidos.» ^[89] Tanto en la primera como en la segunda guerras mundiales, Hungría terminó en el lado de los vencidos.

La preparación para el liceo húngaro (la escuela secundaria) comenzaba en casa. Los niños Von Neumann (y sus primos) eran atendidos por institutrices tanto francesas como alemanas, además de tutores privados para materias que incluían el italiano, la esgrima y el ajedrez. John aprendió a hablar con fluidez el latín, el griego, el alemán, el inglés y el francés. Durante la Primera Guerra Mundial, los niños aprendieron el inglés de dos ciudadanos británicos, un tal Thompson y un tal Blythe, que habían sido retenidos como enemigos extranjeros en Viena, pero que, con la ayuda de Max, «no tuvieron dificultades en conseguir que su lugar de “internamiento” fuera trasladado oficialmente a Budapest».

^[90]

Después de la guerra, Hungría estuvo gobernada durante ciento treinta y tres días por el régimen comunista de Béla Kun. «Soy visceralmente anticomunista —afirmó Von Neumann en su nombramiento como miembro de la Comisión de Energía Atómica estadounidense en 1955—, en particular desde que tuve ocasión de experimentarlo durante unos tres meses en Hungría, en 1919.» ^[91] Gracias a la influencia de Max, la familia conservó su casa después de haber escapado a la seguridad de una residencia de verano en el Adriático, cerca de Venecia, durante lo peor de los disturbios en Budapest. «Bajo el principio rector de la igualdad de viviendas para todos, los pisos grandes fueron divididos —recordaba Nicholas, que tenía siete años cuando apareció un comité formado por un funcionario del Partido Comunista, un soldado del ejército regular y el portero de la casa para administrar la reasignación—. Y sobre el piano, bajo un peso, mi padre puso un fajo de billetes de libras esterlinas, no sé cuántas —explicó Nicholas—. El

funcionario comunista, con el brazalete rojo, se dirigió puntualmente hacia allí, lo cogió, y el comité se fue y nos quedamos en el piso.» [\[92\]](#)

A la hora de comer, los niños eran tratados como adultos. «Por entonces todavía era costumbre que la familia entera se reuniera para un almuerzo relativamente abundante y largo, después de lo cual volvíamos a nuestras respectivas tareas, trabajo o estudios, hasta la hora de cenar», explica Nicholas. Max recibía frecuentes visitas en casa, y, según Nicholas, «fuimos introducidos en los “secretos” de cómo establecer contactos comerciales y tratar con los poderes ejecutivos en la entidad bancaria de mi padre». [\[93\]](#)

Max era astuto, pero amable. Nicholas recuerda que su chófer —que había estado utilizando sin autorización el costoso Renault de la familia para sus propios asuntos— estropeó el coche, tras lo cual esperaba perder su empleo. Pero Max no dijo nada, y concertó directamente con el concesionario Renault la reparación y las piezas de recambio.

Max creía en la demostración con ejemplos prácticos las aplicaciones industriales de las finanzas. «Si esas actividades implicaban financiar la empresa editora de un periódico, la conversación versaba sobre la imprenta y él se traía a casa muestras de tipos y hacía demostraciones con ellas —contó Nicholas—. O si se trataba de una empresa textil, pongamos por caso la “Fábrica de Tejidos Hungaria Jacquard”, la conversación se centraba en el telar automático Jacquard. ¡Probablemente no haga falta mucha imaginación para encontrar en esta experiencia el origen del posterior interés de John en las tarjetas perforadas!» [\[94\]](#)

Para unos jóvenes judíos acomodados de la clase media de Pécs, el hecho de unirse a la nobleza húngara era algo inusual, pero no inaudito, en la Budapest de fin de siglo. Tras el Compromiso de 1867 con Austria se había abierto una ventana de liberalización, que luego se cerraría con el ascenso de Béla Kun y la contrarrevolución de finales de 1919, que, liderada por el almirante Horthy, introdujo el *numerus clausus*, que exigía que la matriculación en la universidad reflejara la composición del conjunto de la

población, lo que en la práctica se tradujo en que volviera a haber cuotas que regulaban el acceso de los judíos a la vida académica y profesional. Por entonces, las familias como los Kann y los Neumann habían sido asimiladas ya en la clase alta húngara.

Tras salir indemne tanto del Terror Rojo de Béla Kun como del Terror Blanco que le siguió, Max recuperó su puesto de banquero, incorporándose al banco de inversiones de Adolf Kohner e Hijos. Allí abrió puertas de altas esferas por lo demás inaccesibles, con la misma facilidad y encanto con que más tarde su hijo abriría las puertas del poder en Estados Unidos. «La esencia de su herencia filosófica, científica y humanitaria consistía en hacer lo imposible, lo que nunca se había hecho antes —afirmó Nicholas, hablando de lo que John aprendió de su padre Max—. Su planteamiento era no solo hacer lo que nunca se había hecho antes, sino lo que se consideraba imposible de hacer.»

[\[95\]](#)

Los húngaros llevaban mil cien años enfrentándose a lo imposible, con escasos recursos excepto un enclave estratégico que había sido ocupado, uno tras otro, por los romanos, los otomanos, los rusos, el Sacro Imperio Romano Germánico, los Habsburgo, la Francia napoleónica, la Alemania nazi y los imperios soviéticos. Von Neumann, según Stan Ulam, atribuía los logros intelectuales húngaros «a un sentimiento subconsciente de extrema inseguridad en las personas, y a la necesidad de producir lo inusual o afrontar la extinción». [\[96\]](#) La lengua húngara, una rama de la familia ugrofinesa incomprensible para los extranjeros y estrechamente relacionada únicamente con el finlandés y el estonio, fortificó Hungría contra posibles invasiones de sus vecinos, al tiempo que incitaba a los intelectuales húngaros a adoptar el alemán como medio de intercambio. Para sobrevivir en un mundo que no hablaba húngaro, los húngaros acudieron a los lenguajes universales de la música, las matemáticas y las artes visuales. Budapest, la ciudad de los puentes, produjo una serie de genios que a su vez

tendieron puentes artísticos y científicos. Tanto en matemáticas como en cine se decía: «No hace falta que seas húngaro, pero eso ayuda».

El talento de Von Neumann destacaba ya en Budapest. «El rasgo más característico de Johnny era su infinita curiosidad por todo, su obsesiva sed de conocimiento, de entender cualquier problema, fuera del nivel que fuese —recordaba Klári—. Cualquier cosa que espoleara su curiosidad con un signo de interrogación era incapaz de dejarla correr; se enfurruñaba, hacía mohines y, por regla general, se ponía imposible hasta que había encontrado la respuesta correcta o al menos se sentía satisfecho de ella.» Era capaz de desmontar cualquier problema y luego volver a montarlo de un modo tal que hiciera obvia la respuesta como resultado. Tenía la habilidad, «quizá algo rara entre los matemáticos —explicó Stan Ulam—, de comunicarse con los físicos, entender su lenguaje y transformarlo casi al instante en los esquemas y expresiones de un matemático. Entonces, después de entender los problemas de ese modo, podía traducirlos de nuevo en expresiones de uso común entre los físicos». [\[97\]](#)

Cualquier tema era un objetivo legítimo de investigación. «Me niego a aceptar, sin embargo, la estupidez de los chicos de la bolsa como una explicación de la tendencia de las acciones —le comentó a Ulam en 1939—. Esos chicos son estúpidos, de acuerdo, pero debe de haber una explicación de lo que ocurre que no haga uso de este hecho.» Esa cuestión llevó a su obra *Theory of Games and Economic Behavior* («Teoría de juegos y comportamiento económico»), escrita en colaboración con Oskar Morgenstern durante los años de la guerra, en los que Von Neumann dedicó al proyecto su cada vez más escaso tiempo libre, mientras Morgenstern contribuía «al período de trabajo más intenso que he conocido nunca». [\[98\]](#)

«Johnny llegaba a casa por la tarde después de haber zigzagueado por toda una serie de reuniones arriba y abajo de la costa —recordaba Klári—. En cuanto llegaba llamaba a Oskar, y luego se pasaban la mayor parte de la noche escribiendo el libro... esto se prolongó durante casi dos años, con

continuas interrupciones de una u otra índole. A veces no podían reunirse durante un par de semanas, pero en cuanto Johnny volvía estaba listo para continuar donde lo habían dejado, como si no hubiera ocurrido nada desde la última sesión.» [\[99\]](#)

Tras las amenazas de cancelación por parte del servicio de ediciones de la Universidad de Princeton debido a la creciente extensión del manuscrito, *Theory of Games and Economic Behavior* se publicó finalmente en 1944. Dedicando 673 páginas a exponer sus argumentos, Von Neumann y Morgenstern detallaban como una economía fiable puede estar compuesta de partes no fiables, situando los fundamentos de la economía, la evolución y la inteligencia en una base matemática común. «Las unificaciones de campos que antaño estaban divididos y alejados —aconsejaban en la introducción— son raras y ocurren solo después de que cada uno de dichos campos haya sido explorado a fondo.» La teoría de juegos fue adoptada inicialmente por los estrategas militares, y luego les siguieron los economistas. Von Neumann «se internó brevemente en nuestro dominio —comentaría retrospectivamente el economista y matemático Paul Samuelson cincuenta años después—, y desde entonces nunca ha vuelto a ser el mismo». [\[100\]](#)

Klári recuerda que John era «tan inepto con las manos como diestro con la mente», y como estudiante de química se le consideraba un peligro para los objetos de cristal del laboratorio. Le atraían los temas «imposibles»: predecir el tiempo, entender el cerebro, explicar la economía, construir ordenadores fiables utilizando partes no fiables... «Para él era una cuestión de orgullo considerar las cuestiones más graves bajo el prisma de un sencillo rompecabezas —dijo Klári—, como si desafiara al mundo para que le presentara cualquier rompecabezas, cualquier cuestión, y entonces, con el cronómetro contando el tiempo, viera con qué rapidez, con qué agilidad y facilidad podía solucionarlo.» [\[101\]](#)

Edward Teller creía que, «si alguna vez se desarrolla una raza mentalmente sobrehumana, sus miembros se parecerán a Johnny Von Neumann»,

atribuyéndole una inexplicable «superconductividad neural» y añadiendo que, «si tú disfrutas pensando, tu cerebro se desarrolla. Y eso es lo que hizo Von Neumann. El disfrutaba del funcionamiento de su cerebro». [\[102\]](#) Si no tenía nada a lo que darle vueltas, su atención se dispersaba. Según Herman Goldstine, «nada fue nunca tan completo como la indiferencia con la que Johnny podía escuchar un tema o artículo que no quería oír». [\[103\]](#)

De niño, Von Neumann era el primero de su clase en matemáticas, historia, lenguas y ciencia; en todo, excepto en música y deportes. Incluso en su juventud, recuerda Klári, «tenía ya un aspecto rollizo, no de un gordinflón de mediana edad, sino de una gordura infantil, rechoncho como los dibujos que pintan los niños del hombre en la Luna». No era atlético, pero disfrutaba caminando. «Tuvimos que andar un buen trecho para ver “la bañera del oso” y “el velo nupcial” en [el parque de] Yosemite, “la caldera del diablo” en [el parque de] Yellowstone y “la torre del diablo” en algún sitio de Dakota — explicó Klári—. Estos y otros con nombres similares eran los sitios que despertaban su curiosidad, hasta el punto de que muchas veces nos desviábamos cientos de kilómetros en coche y a veces hasta caminábamos varios kilómetros solo porque su curiosidad se veía espoleada por esos caprichosos nombres.» También le atraían las escaleras: «En eso era raro y yo nunca supe por qué quería hacerlo, pero le gustaba subir los escalones de dos en dos», recuerda Cuthbert Hurd, que conoció a Von Neumann estando en Oak Ridge, durante el Proyecto Manhattan, y que más tarde se convirtió en director de informática de IBM. [\[104\]](#)

Klári trató de que John se interesara en el esquí, pero, después de dos o tres intentos, «él, de manera muy simple y sin ningún rencor, me ofreció el divorcio... Si estar casado con una mujer, fuera quien fuese, significaba que tenía que deslizarse sobre dos trozos de madera en alguna ladera resbaladiza, definitivamente prefería vivir solo y hacer su ejercicio diario, como él decía, “entrando y saliendo de una agradable bañera caliente”». [\[105\]](#)

Raras veces aparecía sin traje y corbata, un hábito que él atribuía al hecho de que le hubieran tomado por un estudiante cuando llegó a Princeton para dar clases a la edad de veintiséis años, pero, por lo demás, le entusiasmaban los aspectos informales de la vida estadounidense. «Además de ser un esforzado trabajador, Johnny parecía ser un *bon vivant* por excelencia, siempre dispuesto, por ejemplo, a hacer una escapada a los cafés hispanos del vecindario en busca de las enchiladas picantes que tanto le gustaban», recordaba Françoise Ulam, quien añadió que «¡Stan creía que probablemente le recordaban al gulash húngaro!». Según Klári, era extremadamente supersticioso. «No podía abrirse un cajón a menos que se volviera a cerrar y abrir siete veces, y lo mismo con un interruptor, que también tenía que accionarse siete veces antes de que pudieras dejarlo en paz.» [\[106\]](#)

Hacía gala de «una capacidad camaleónica para adaptarse a las personas con las que estaba», recuerda Herman Goldstine, y nunca decía que no podía explicarle algo a alguien que no entendiera de matemáticas. «Era exactamente como ir sobre cristal, así de suave resultaba. De algún modo sabía exactamente cómo guiarte a través del bosque. Siempre que daba una conferencia era algo muy lúcido, era como magia, todo parecía tan sencillo que no tenías que tomar apuntes.» Nicholas recordaba que su hermano volvió a Budapest para pronunciar una conferencia sobre mecánica cuántica y que, antes de la charla, le hizo un resumen no técnico a su familia extensa. «Las teorías de Dirac sobre la luz no resultan fáciles de explicar», precisó Nicholas. [\[107\]](#)

«Lo primero que me llamó la atención de él fueron sus ojos: de color castaño, grandes, vivaces y llenos de expresión —recordaba Stan Ulam, que conoció a Von Neumann en Varsovia en 1935—. Su cabeza era impresionantemente grande. Tenía una especie de bamboleo al andar.» Ulam lo encontraba simpático, alegre «y en absoluto distante o severo», pero señalaba que «se sentía a disgusto con la gente hecha a sí misma o que tenía un origen humilde. Se encontraba más cómodo con los judíos ricos de

tercera o cuarta generación». A pesar de su sentido del humor, «parecía haber como una fina pantalla o velo, una especie de limitación entre él y los demás —subrayó el coronel Vincent Ford, agregado de Von Neumann en el Comité de Evaluación de Misiles Estratégicos de la fuerza aérea estadounidense, y su ayudante cuando se le confinó en el Centro Médico Militar Walter Reed durante el último año de su vida—. Parecía formar parte de este mundo en un sentido... y no formar parte de él en otro». [\[108\]](#)

Los ingenieros de primera línea del proyecto de computación, que Von Neumann trataba con una cordialidad solo equiparable a la frialdad de la que eran objeto por parte de los otros profesores del IAS, se sentían, no obstante, intimidados cuando iba a verles en la sala de la máquina o en el banco de trabajo. «Las probabilidades de conseguir resultados numéricos reales eran muchísimo mayores si él no estaba en la sala del ordenador, porque cuando estaba allí todo el mundo se ponía muy nervioso —contó Martin Schwarzschild—. Pero cuando tenías un verdadero problema de ideas, acudías a Von Neumann y solo a él.» [\[109\]](#)

«Todos podemos pensar con claridad, más o menos, durante parte del tiempo —explicó un colega suyo, el matemático húngaro-estadounidense Paul Halmos—, pero la claridad de pensamiento de Von Neumann era varios órdenes de magnitud mayor que la de la mayoría de nosotros, y durante todo el tiempo.» La suya era una inteligencia calculadora y lógica, y «él admiraba, quizá envidiaba, a la gente que tenía las cualidades complementarias, los destellos de intuición irracional que a veces cambian la dirección del progreso científico», añadió Halmos. «Tal vez la conciencia de los animales sea más vaga que la nuestra y tal vez sus percepciones sean siempre como ensoñaciones —recordaba el físico Eugene Wigner en 1964—. Pero, en el extremo opuesto, siempre que hablaba con Von Neumann tenía la impresión de que solo él tenía una conciencia plena.» [\[110\]](#)

Von Neumann compensaba esas aptitudes sobrehumanas con un terrenal sentido del humor y una incansable vida social, e intentaba, no siempre con

éxito, relacionarse en una escala humana normal. «Tú le decías algo embrollado y él te respondía: “¡Ah!, quieres decir tal o cual cosa”, y te lo devolvía maravillosamente expresado —explicó su antiguo protegido Raoul Bott—. No era capaz de distinguir a la gente muy buena de verdad de la gente menos buena —añadió—. Creo que todos le parecían mucho más lentos.» [\[111\]](#)

En 1914, a la edad de diez años, Von Neumann ingresó en el Liceo Luterano, una de las tres escuelas de secundaria de élite de Budapest que ofrecían currículos de ocho años que rivalizaban entre sí, además de apoyar a un pequeño grupo de matemáticos consagrados que combinaban la enseñanza con la investigación original. Von Neumann llamó la atención del legendario profesor de matemáticas László Rátz, quien, según su compañero de clase (y futuro economista) William Fellner, «le expresó al padre de Johnny la opinión de que sería absurdo enseñar a su hijo matemáticas escolares de la manera convencional». Rátz tenía un don para identificar el talento matemático y alentar su desarrollo. «¿Cómo podía saberse que ese niño precoz de diez años un día se convertiría en un gran matemático? —se preguntó Eugene Wigner—. En realidad no se podía. Pero de algún modo Rátz lo supo. Y lo supo enseguida.» [\[112\]](#)

Bajo la dirección de Joseph Kürschák, de la Universidad de Budapest, y la tutoría privada de Gabriel Szegó, Michael Fekete y Leopold Fejér, además de Rátz, John inició en serio su formación matemática a los trece años. Su primer trabajo publicado lo escribió (con Fekete como coautor) a los diecisiete, y para cuando finalizó sus estudios de secundaria, en 1921, ya era reconocido como un matemático de rango profesional. Sin embargo, su padre dudaba de que las matemáticas por sí solas pudieran llegar a ofrecerle una carrera viable.

Theodore von Kármán, el físico húngaro especializado en aerodinámica que fundó el Laboratorio de Propulsión a Chorro de Pasadena, construyó el primer túnel de viento supersónico, fue el primer presidente de la Junta

Consultiva Científica de la fuerza aérea estadounidense y, según Von Neumann, «inventó la consultoría», recordaba que «un conocido banquero de Budapest vino a verme con su hijo de diecisiete años... Traía una petición insólita: quería que yo disuadiera al joven Johnny de convertirse en matemático. “Las matemáticas —me dijo— no dan dinero”.

»Hablé con el muchacho —prosiguió Von Kármán—. Era espectacular. A los diecisiete años ya se dedicaba a estudiar por sí solo los diferentes conceptos de infinito, que es uno de los problemas más profundos de las matemáticas abstractas... Pensé que sería una vergüenza influir en él para alejarle de su inclinación natural». [\[113\]](#)

Se llegó a un acuerdo por el que Von Neumann se matricularía en el programa de ingeniería química de la ETH de Zurich (Eidgenössische Technische Hochschule, o Escuela Politécnica Federal) «a fin de prepararse para lo que entonces era una profesión razonable», al tiempo que se matriculaba también como estudiante de matemáticas tanto en la Universidad de Berlín como en la de Budapest. Durante los cuatro años siguientes dividió su tiempo entre Zurich y Berlín, asistiendo a clases de química mientras trabajaba por su cuenta en matemáticas y volviendo a Budapest al final de cada curso para presentarse a los exámenes, que aprobaba sin asistir a clase. En 1925 se graduó en ingeniería química en la ETH de Zurich, y a continuación se doctoró en matemáticas en Budapest.

Su tesis, sobre la axiomatización de la teoría de conjuntos, era el resultado de un trabajo iniciado en su primer año. Abraham Fraenkel, director *del Journal für Mathematik* en 1922-1923, recordaba que recibió «un largo manuscrito de un autor desconocido para mí, Johann Von Neumann, con el título “Die Axiomatisierung der Mengenlehre” (“La axiomatización de la teoría de conjuntos”). No diré que lo entendí todo, pero sí lo bastante como para ver que era un trabajo excepcional y reconocer *ex ungue leonem* [“las garras del león”]». [\[114\]](#) El artículo se publicó en 1925 bajo el título «Eine Axiomatisierung der Mengenlehre» («Una axiomatización de la teoría de

conjuntos»), y en 1928 se publicaría una versión ampliada, cambiando de nuevo «Una» por «La».

Una axiomatización es la reducción de una materia a un mínimo conjunto de presupuestos iniciales, suficientes para desarrollar plenamente dicha materia sin necesidad de que se introduzcan nuevos presupuestos por el camino. Matemáticamente, la axiomatización de la teoría de conjuntos sentaba las bases de todo lo demás. Una ambiciosa tentativa previa de la mano de Bertrand Russell y Alfred North Whitehead, pese a contar con 1.984 páginas que se extendían a lo largo de tres volúmenes, dejaba todavía sin resolver cuestiones fundamentales. Von Neumann empezó de cero. «La concisión del sistema de axiomas es sorprendente —comentó Stan Ulam—. Los axiomas ocupan poco más de una página impresa. Eso es suficiente para basar prácticamente toda la teoría informal de conjuntos y, con ella, todas las matemáticas modernas... y el carácter formal del razonamiento empleado parece cumplir el objetivo de Hilbert de tratar las matemáticas como un juego finito.» [\[115\]](#)

El panorama matemático de comienzos del siglo XX estaba dominado desde Gotinga por David Hilbert, que creía que, a partir de un conjunto de axiomas estrictamente limitado, se podía llegar a todas las verdades matemáticas por una secuencia de pasos lógicos bien definidos. El reto de Hilbert, que Von Neumann aceptó, llevaría directamente tanto a los resultados de Kurt Gödel sobre la incompletitud de los sistemas formales en 1931 como a los de Alan Turing sobre la existencia de funciones no computables (y de la computación universal) en 1936. Von Neumann preparó el camino para estas dos revoluciones, pero no atinó a dar los pasos decisivos por sí mismo.

Gödel demostró que, dentro de cualquier sistema formal lo suficientemente potente como para incluir la aritmética corriente, siempre habrá enunciados «indecidibles» de los que no se puede demostrar su verdad, pero tampoco su falsedad. Turing demostró que, dentro de cualquier sistema formal (o mecánico), no solo hay funciones de las que se puede dar una descripción

finita pero que no pueden ser computadas por ninguna máquina finita en una cantidad de tiempo finita, sino que además no hay ningún método definido para distinguir las funciones computables de las no computables por adelantado. Esa es la mala noticia. La buena es que, como sugería Leibniz, y como demuestra el éxito práctico de la computación digital, parece que vivimos en el mejor de todos los mundos posibles, donde las funciones computables hacen la vida lo bastante predecible como para poder sobrevivir, mientras que las no computables hacen la vida (y la verdad matemática) lo bastante impredecible como para seguir siendo interesante por muchos caballos de fuerza computacional de los que disponga el frente de Hilbert.

En su axiomatización de la teoría de conjuntos, «se puede adivinar el germen del futuro interés de Von Neumann en las máquinas computadoras — sostenía Ulam, hablando retrospectivamente, en 1958—. La economía del tratamiento parece indicar un interés más fundamental en la brevedad que en el virtuosismo por sí mismo. Esto, pues, ayudó a preparar el terreno para una investigación de los límites del formalismo finito mediante el concepto de “máquina”». [\[116\]](#) Von Neumann había establecido su estilo. Abordaba un tema, identificaba los axiomas que lo hacían funcionar y luego, usando dichos axiomas, ampliaba el tema más allá de donde estaba cuando él había aparecido. «¿Qué era lo que posibilitaba que pudiera realizar tantas contribuciones en tantos ámbitos distintos de las matemáticas? —se preguntó Paul Halmos—. Era su genio a la hora de sintetizar y analizar las cosas. Él podía coger grandes unidades, anillos de operadores, medidas, geometría continua, integrales directas, y expresar la unidad en términos de pequeños fragmentos infinitesimales. Y podía coger pequeños fragmentos infinitesimales y ensamblar grandes unidades con propiedades arbitrariamente prescritas. Eso es lo que Johnny podía hacer, y también lo que no podía hacer nadie más.» [\[117\]](#)

En 1926, junto con su doctorado —después de un examen oral en el que se dijo que David Hilbert solo había formulado una pregunta: «En toda mi vida nunca había visto un traje tan bonito; por favor, ¿quién es el sastre del candidato?»—, Von Neumann recibió una Beca Rockefeller para trabajar con Hilbert en Gotinga, un salvavidas que llegaba de Estados Unidos en un momento en el que en Europa escaseaban los puestos académicos. [\[118\]](#) En los tres años siguientes publicó veinticinco artículos, entre ellos uno de 1928 sobre la teoría de juegos (con su teorema minimax, que demostraba la existencia de buenas estrategias, para una amplia gama de competiciones, en el punto de ensilladura entre conjuntos convexos), además del libro *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, [\[VIII\]](#) descrito por Klári como su «pasaporte permanente al mundo de la ciencia», y que ochenta años después todavía se reedita. En 1927 fue nombrado *Privatdozent* («profesor adjunto») de la Universidad de Berlín, y en 1929 transferido a la Universidad de Hamburgo.

Por entonces, mientras la depresión se cernía sobre Estados Unidos, el nazismo estaba en auge en Europa. Oswald Veblen fue reclutado por el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Princeton, que preparaba su traslado a la nueva sede de Fine Hall, y, como señaló Klári, «en su búsqueda de talento encontró a Johnny... y usó todos los medios [a su alcance] para persuadir primero a la universidad, y luego al instituto, de que incorporaran a aquel joven húngaro relativamente desconocido». [\[119\]](#) La invitación inicial, de la universidad, fue para ocupar un puesto de profesor visitante compartido con Eugene (Jeno) Wigner, un arreglo por el que los dos húngaros habrían de repartir su tiempo entre Europa y Estados Unidos. Para los guardianes de Princeton, la mitad de dos húngaros resultaba más aceptable que contratar a un húngaro a tiempo completo.

«Un día recibí un cable ofreciéndome un puesto de profesor visitante con aproximadamente ocho veces el sueldo que tenía en el Instituto de Tecnología de Berlín —recordaba Wigner—. Pensé que era un error de

transmisión. Pero John von Neumann recibió el mismo cable, de modo que decidimos que tal vez fuera verdad, y aceptamos.» La paga era de 3.000 dólares al semestre, con 1.000 dólares para desplazamientos; una pequeña fortuna para la época.

Von Neumann, recién casado con Mariette Kovesi, hija de un médico eminente que era el director del Hospital Judío de Budapest, llegó a Princeton en febrero de 1930 y, según Wigner, «en Estados Unidos se sintió como en casa desde el primer día». A su llegada a Nueva York, Wigner (entonces Wigner Jenó) y Von Neumann convinieron «en que debíamos intentar volvernos ni que fuera un poco estadounidenses: él se llamaría Johnny Von Neumann, mientras que yo sería Eugene Wigner». [\[120\]](#)

Von Neumann fue nombrado miembro permanente de la Universidad de Princeton en 1931. «Johnny fue de los primeros pájaros que volaron —explicó Klári—, renunciando voluntariamente a su excelente posición académica mucho antes de que los nazis tuvieran el poder de echarlo a la fuerza.» Su decisión se basaba en razones económicas además de políticas. «La crisis económica en Alemania es ahora muy acusada —le escribía a Veblen en enero de 1931—, y, como a la gente no le gusta estar sola en sus miserias, en Estados Unidos se habla mucho de la pésima situación. ¿Hay algo de cierto en eso?» [\[121\]](#)

En enero de 1933 (utilizando fondos inicialmente destinados al indeciso Hermann Weyl), Abraham Flexner ofreció a Von Neumann una cátedra en el Instituto, donde se unió a Oswald Veblen, Albert Einstein y James Alexander, que ya estaban instalados en Fine Hall, la sede provisional del Instituto. El sueldo inicial era de 10.000 dólares (más alto que en la universidad), con una serie de beneficios adicionales entre los que se incluía una ayuda para comprar una casa (o para construir una en el terreno del Instituto que se estaba parcelando a lo largo de Battle Road, en la linde de Olden Farm). El curso del Instituto, que empezaba en octubre y terminaba a primeros de mayo, dejaba tiempo para volver a Europa durante los meses de verano. Los

Flexner tenían una residencia estival en Magnetawan, a unos trescientos kilómetros al norte de Toronto, en los bosques canadienses, mientras que los Veblen tenían la suya en Maine. Einstein pasaba los veranos navegando en el estrecho de Long Island y, por su parte, Alexander, un apasionado alpinista que había escalado en solitario la chimenea que llevaría su nombre en la cara este del Longs Peak, en Colorado, en 1922, pasaba los veranos en el oeste de Estados Unidos.

En la primavera de 1933, los nazis empezaron a despedir a profesores judíos de las universidades alemanas, y Von Neumann renunció primero a su puesto en Berlín y luego, en enero de 1935, a su pertenencia a la Sociedad Matemática Alemana. «Él, más que nadie que yo conozca —añadió Klári—, se tomó como la peor de las afrentas personales el hecho de que cualquier nación, grupo de personas o individuo pudiera preferir la filosofía burda y vil del nazismo o de cualquier otro “ismo” a mentes tales como las de Einstein, Hermann Weyl, Wolfgang Pauli, Schrödinger y muchos muchos otros, incluyéndole, por último pero no en último lugar, a él mismo.» [\[122\]](#)

Según Klári, «durante los años treinta Johnny había cruzado el Atlántico al menos veinte veces», hasta que las puertas se cerraron en 1939. «No hay muchos acontecimientos aquí, en Hungría, salvo que la gente empieza a estar extremadamente orgullosa de la capacidad de este país para realizar sus revoluciones y contrarrevoluciones de una forma mucho más suave y civilizada que Alemania —le decía a Veblen en abril de 1933 desde Budapest—. No he oído nada sobre cambios o expulsiones en Berlín, pero parece ser que la “depuración” de las universidades hasta ahora solo ha alcanzado a Frankfurt, Gotinga, Marburgo, Jena, Halle, Kiel y Königsberg, y sin duda seguirán las otras veinte.» [\[123\]](#) Empezaba a haber cola para salir rumbo a Estados Unidos. La Ley de Restricción de la Inmigración, tramitada de urgencia en 1921, y el plan de Orígenes Nacionales previsto en la Ley Reed-Johnson de 1924 limitaban el número de inmigrantes de Hungría a un total anual de solo 869. Había exenciones disponibles para profesores o

catedráticos con contratos de jornada completa, pero los contratos de ese tipo eran escasos hasta para quienes ya estaban en Estados Unidos.

Veblen dedicó todos los recursos disponibles —de los Bamberger, de la Fundación Rockefeller, de la Universidad de Princeton y de toda una red de departamentos de matemáticas— a rescatar al mayor número posible de matemáticos. Aunque Von Neumann partiera hacia Estados Unidos antes de la oleada masiva de refugiados y, además, podría haber obtenido fácilmente un puesto en otra parte, atribuiría a Veblen su oportunidad de tener una nueva vida. «Existía un afecto muy real entre los dos —contó Klári—. Johnny, que había perdido a su padre siendo muy joven, en cierto modo transfirió su afecto filial a Veblen. Estaba convencido de que, de no haber sido por Veblen, habría perecido en el conflicto europeo.» [\[124\]](#)

«Básicamente, su odio, su aborrecimiento hacia los nazis, no tenía límites —añadió Klári—. Estos vinieron a destruir el mundo de aquel perfecto entorno intelectual. En poco tiempo dispersaron la concentración de mentes y la sustituyeron por campos de concentración donde muchos de los que no fueron lo bastante rápidos... perecieron de las formas más horribles.» Ello dejaría en Von Neumann una marca de por vida. «Había [en él] una capa superficial de un tipo muy sociable —explicó su hija Marina— que encubría lo que fundamentalmente era una visión bastante cínica y pesimista del mundo.» [\[125\]](#)

«Siento lo opuesto a una nostalgia por Europa, porque cada rincón que conocía me recuerda al mundo, la sociedad, las expectativas emocionantemente nebulosas de mi infancia —y al decir infancia me refiero al período que terminó cuando tenía diecinueve años o veintidós o así—, de un mundo que se ha ido y cuyas ruinas no son ningún consuelo —explicaba Von Neumann tras su primera visita a la Europa de la posguerra en 1949—. Mi segunda razón para sentir aversión por Europa es el recuerdo de mi total desencanto de la decencia humana entre 1933 y septiembre de 1938.» [\[126\]](#)

Princeton estaba a más de siete mil kilómetros de distancia. El Instituto de Estudios Avanzados, un enclave dentro del enclave de Fine Hall, se había fundado justo a tiempo. No había cuotas restrictivas en el Instituto, y Flexner, Veblen y los Bamberger extendieron las invitaciones hasta donde alcanzaba el presupuesto: Kurt Gódel fue invitado a incorporarse a Princeton (desde Viena) con un estipendio de 2.400 dólares para el año 1939 (aunque no pudo marcharse hasta 1940); Stan Ulam (desde Varsovia), como profesor visitante temporal, con un sueldo de 300 dólares, y Paul Erdos (desde Budapest), con 750 dólares, para un curso académico.

Fine Hall, con su biblioteca, su sala común y sus enormes chimeneas, era a la vez sala de estar, estudio y, en algunos casos, la única casa que les quedaba a los matemáticos alojados temporalmente en las cercanas viviendas de huéspedes del superpoblado centro urbano de Princeton. Von Neumann se encontró en el centro de una floreciente comunidad matemática, asumiendo el papel que Hilbert había desempeñado en la Gotinga de 1926. «Yo llegaba a Fine Hall por la mañana y buscaba el enorme coche de Von Neumann —recordaba Israel Halperin, que en 1933 era un estudiante—, y cuando estaba allí, delante del Laboratorio Palmer, Fine Hall parecía iluminado. Había algo allí dentro con lo que te podías tropezar y que hacía que la jornada valiera la pena. Pero si el coche no estaba, entonces él no se encontraba allí, y el edificio resultaba aburrido y parecía muerto.» [\[127\]](#)

Johnny y Mariette (y luego Johnny y Klári en 1938) trataron de reconstruir un fragmento de la vida que habían dejado en Budapest. Recibían visitas generosa y frecuentemente, al viejo estilo de Princeton, con la ayuda de sirvientes domésticos. El hogar creado con Klári en Westcott Road se convirtió en «un oasis en un Princeton por lo demás un tanto sofocante», contó Robert Richtmyer, con fiestas que «eran una mezcla de intensa discusión científica y luego una absoluta irrelevancia —según Oskar Morgenstern—. Siempre ibas allí con cierta sensación de ligereza, porque en

aquella casa había un espíritu de libertad». Añadió Richtmyer: «Y siempre algo de beber». [\[128\]](#)

Von Neumann hizo todo lo posible por socavar la reputación del Instituto de Estudios Avanzados como un refugio donde las grandes mentes se retiraban a un silencioso aislamiento para pensar. «Él no podía trabajar sin algo de ruido, o al menos la posibilidad de ruido —explicó Klári—. Parte de su mejor trabajo lo hizo en abarrotadas estaciones de ferrocarril y aeropuertos, trenes, aviones, barcos, vestíbulos de hotel, animados cócteles o incluso entre un puñado de vociferantes jóvenes estudiantes armando jolgorio.» En Fine Hall, la puerta de su despacho siempre estaba abierta. «Weyl es más feliz en un cuarto más pequeño que el suyo, y Johnny es productivo en un cuarto más pequeño que el de Weyl», le escribía Abraham Flexner a Oswald Veblen, argumentando en contra de su demanda de despachos aún más lujosos en Fuld Hall. [\[129\]](#)

Pero, por muy feliz que se sintiera en los despachos pequeños y anodinos, a Von Neumann le gustaban los coches grandes y rápidos. Se compraba uno nuevo al menos una vez al año, tanto si se le había estropeado el anterior como si no. Cuando le preguntaron por qué siempre se compraba Cadillacs, contestó: «Porque nadie querría venderme un tanque». En 1946 los Dirac se encontraban de visita en Princeton, y la señora Dirac pidió ayuda para encontrar un coche usado barato. «¿Cómo puedo decirle, sin herir sus sentimientos —le escribió Von Neumann a Klári—, que sus posibilidades de conseguir un coche usado en Estados Unidos en 1946 son las mismas que las de conseguir una bola de nieve de segunda mano en el Infierno?» [\[130\]](#)

«Siempre trataba de ingeniármelas para que fuera yo el que condujera —recordaba Cuthbert Hurd, que había hecho entrar a Von Neumann en IBM como consultor dos días al mes, y que a menudo compartía con él el trayecto por la carretera elevada del West Side hasta la sede central de dicha empresa en Poughkeepsie, Nueva York—. Cuando la conversación languidecía, él cantaba. La melodía era indistinguible, y entonces se

balanceaba de un lado a otro al compás, de modo que el coche no iba demasiado recto.» Von Neumann era multado regularmente por exceso de velocidad. «Yo depositaba la multa en la sede de distrito del centro de Nueva York, donde estaba el tribunal de policía, y él se pasaba por allí a pagarla», añade Hurd. [\[131\]](#)

«Conducía como un loco, y solo necesitaba dormir tres o cuatro horas cada noche —relató Marina, rememorando uno de sus primeros viajes en coche por Estados Unidos—. Recuerde que en 1946 había los mismos moteles que en los años treinta, ya que durante la guerra no se había construido nada. Muchos de ellos no tenían agua corriente en las habitaciones. Yo había tenido una vida muy protegida y nunca había visto un retrete exterior, excepto una vez en un campamento.» Herman Goldstine, con quien Von Neumann compartió ocasionalmente habitaciones de hotel cuando trabajaban para el gobierno estadounidense, recordaba que «de noche se despertaba, a las dos o las tres de la mañana, y había estado pensando detenidamente sobre aquello en lo que estaba trabajando. Entonces lo ponía por escrito». [\[132\]](#)

Von Neumann podía entregar un texto publicable, e incluso pruebas matemáticas, sin haberlos revisado una sola vez. «Escribo bastante deprisa y profusamente si un tema está “maduro” en mi mente —explicaba en 1945, excusándose por un manuscrito que no había entregado—, pero desarrollo los peores rasgos de la pedantería y la ineficacia si intento dar una descripción preliminar de un tema que no tengo aún en lo que puedo creer que es su forma final.» Sus cartas escritas a mano a veces terminan con una posdata informal que se prolonga a lo largo de varias páginas para explicar algún nuevo resultado. «Empezaba a escribir todos los días antes del desayuno —contó Ulam—. Incluso cuando había fiestas en su casa, de vez en cuando abandonaba a los invitados y se iba a su estudio durante media hora o así para anotar algo que tenía en la cabeza.» Ya fuera verbalmente o sobre el papel, cada idea que expresaba era precisa, «von Neumann era uno de los más grandes de entre todos los artistas matemáticos —afirmó Goldstine—.

Para él nunca fue suficiente el mero hecho de establecer un resultado: tenía que hacerlo con elegancia y con gracia.» [\[133\]](#)

Tras obtener la ciudadanía estadounidense, el 8 de enero de 1937, Von Neumann solicitó un puesto de oficial en el ejército, pero fue rechazado por ser demasiado mayor pese a haber obtenido una puntuación perfecta en los exámenes escritos. En lugar de ello, Oswald Veblen consiguió que el ejército reclutara a Von Neumann como consultor. El Campo de Pruebas del Departamento de Armamento del ejército en Aberdeen había quedado en una especie de estado de letargo desde el final de la Primera Guerra Mundial, subsistiendo con un presupuesto anual de unos seis millones de dólares hasta 1937, año en que la financiación se triplicó, pasando a ser de 17 millones de dólares, antes de dispararse a los 177 millones en vísperas de la Segunda Guerra Mundial. La colaboración de Von Neumann con los militares aumentaría durante los veinte años siguientes. «Parecía admirar a los generales y almirantes, y llevarse bien con ellos», explicó Ulam, añadiendo que su «fascinación por los militares... se debía, de manera más general, a su admiración por la gente que tenía poder. Admiraba a quienes podían influir en los acontecimientos. Además, dado que él era una persona de buen corazón, creo que sentía una admiración oculta por la gente o las organizaciones capaces de actuar con dureza». [\[134\]](#)

Los tres ejércitos consideraban a Von Neumann uno de los suyos. «Creo que tenemos la oportunidad de hacer un trabajo que les resulte útil tanto al ejército como a la comunidad matemática —respondió Von Neumann al matemático Saunders Mac Lañe, que le había preguntado si los matemáticos académicos debían aceptar encargos militares—. Podemos hacerlo en un sector concreto del ejército en que las autoridades han “visto la luz”. No creo que debamos dejarnos influir demasiado por las insuficiencias en otros sectores.» Según Ulam, Von Neumann se veía especialmente favorecido por su papel como presidente de comités, «esta peculiar actividad contemporánea», esenciales para conseguir que se llevara a término

cualquier cosa en Estados Unidos. «El defendía firmemente sus puntos de vista técnicos, pero delegaba con bastante facilidad en los asuntos de personal o de organización.» Según el contraalmirante Lewis Strauss, Von Neumann era «capaz de abordar el problema más difícil y dividirlo en sus componentes, con lo cual todo parecía deslumbrantemente sencillo, y todos nos preguntábamos por qué nosotros no habíamos sido capaces de ver la respuesta tan claramente como a él le resultaba posible hacerlo». [\[135\]](#)

Mientras que la Primera Guerra Mundial había sido una batalla por ver quién tenía los cañones más grandes, la segunda (y la guerra fría que le siguió) se convirtió en una batalla por ver quién tenía las mayores bombas. En 1937, cuando la guerra ya acechaba, llegó el momento de volver a movilizar a los científicos, y Veblen fue destinado de nuevo al Campo de Pruebas como principal matemático del ejército. Por su parte, Von Neumann fue nombrado, en rápida sucesión, miembro de la Junta Consultiva Científica del Laboratorio de Investigación Balística, del Comité de Preparación Bélica de la Sociedad Matemática Estadounidense y la Asociación Matemática de Estados Unidos, y del Comité de Investigación de Defensa Nacional. «Las funciones de todos estos grupos, y grupos de grupos, todavía no están muy bien definidas, pero supongo que lo estarán cuando llegue “el día” —le escribía a Ulam en 1940—. Hasta ahora me he ocupado sobre todo de medidas esféricas y gaussianas de varias funciones.» [\[136\]](#) Era esta una forma abreviada de referirse al cálculo del comportamiento de explosivos de gran potencia; lo sorprendente de las grandes explosiones no era cuánta energía se liberaba, sino cuán imprevisible era el daño producido como consecuencia de ellas.

Von Neumann, que pensaba que las matemáticas evolucionaban mejor cuando se alimentaban de «un cierto contacto con las tribulaciones y problemas del mundo», [\[137\]](#) entabló una gran amistad con los expertos en el desarrollo de armamento. «De físicos, particularmente de físicos experimentales, existe una mayor demanda para el trabajo de defensa —le explicaba a un colega matemático una vez declarada la guerra—, mientras

que nosotros debemos, por así decirlo, crearla demanda de nuestros servicios.» Allí donde aparecían nuevas armas, detrás iba Von Neumann, si es que no había llegado primero. El comportamiento tanto de las detonaciones de explosivos de alta potencia como de los proyectiles supersónicos dependía de los efectos de las ondas de choque, cuyo comportamiento a su vez era no lineal y se entendía mal. ¿Qué ocurre cuando una discontinuidad se propaga más deprisa que la velocidad local de la información que precede a la perturbación (siendo esta la velocidad del sonido en el caso de las ondas de presión)? ¿Qué ocurre cuando colisionan dos (o más) ondas de choque?

Las ondas de choque son discontinuidades repentinas propagadas en medios compresibles, normalmente el aire. «En las condiciones presentes en una explosión, y en torno a ella, todas las sustancias conocidas deben ser consideradas compresibles», señalaba Von Neumann. [\[138\]](#) Su formación en ingeniería química y en física matemática le permitió adoptar una visión amplia del diseño de armamento, desde la energía química liberada por los explosivos de gran potencia hasta la onda expansiva que causa los efectos destructivos, pasando por la onda de detonación que propaga la explosión. Las ideas resultantes sobre las ondas de choque (especialmente las ondas de choque reflejadas) contribuyeron al desarrollo de las cargas huecas utilizadas en las armas antitanque, los torpedos y los proyectiles perforadores de blindaje, además de aumentar la eficacia de las cargas de profundidad contra submarinos y la precisión de las bombas convencionales. Su novedosa técnica matemática para tratar las sacudidas condujo, asimismo, al éxito del método de implosión para iniciar una explosión nuclear, y su teoría de las ondas expansivas ayudó a determinar la altitud a la que se debía hacer explotar el arma resultante para obtener el máximo efecto. Él fue uno del puñado de científicos que estuvieron presentes tanto en la concepción como en la construcción de la bomba atómica.

La cantidad de material fisible necesaria para sustentar una reacción en cadena autónoma está en función no solo de la masa, sino también de la densidad. Sométase una masa subcrítica de plutonio a una densidad lo suficientemente elevada y se volverá crítica, y si se rodea de una capa circundante de material denso que haga de «reflector de neutrones», explotará violentamente. Lograr una explosión nuclear de alto rendimiento utilizando un mínimo de material fisible requiere que el explosivo de gran potencia circundante comprima el núcleo de la bomba a la vez que limita la reacción en cadena resultante el tiempo suficiente para que explote plenamente. Von Neumann sugería que al explosivo de gran potencia requerido se le podía dar la forma de «lentes implosivas» que, si se disponían como las piezas de un balón de fútbol y se hacían detonar con una sincronización exacta, concentrarían la onda de choque resultante en un frente convergente. De este modo se puede hacer explotar una cantidad mucho más pequeña de material fisible.

El principio de las ondas de choque reflejadas podía usarse entonces para maximizar los efectos de una bomba. «Si tuvieras una explosión ligeramente por encima del suelo y quisieras saber cómo la onda original alcanzaría el suelo, formaría una onda reflejada, luego esta se combinaría cerca del suelo con la onda original y haría surgir una onda expansiva extrafuerte cerca del suelo, ese era un problema que implicaba una hidrodinámica extremadamente no lineal —recordaba Martin Schwarzschild—. En aquella época esta solo se entendía apenas descriptivamente. Y ese se convirtió en un problema en el que creo que Von Neumann se interesó mucho. Él quería un problema real para el que realmente necesitaras ordenadores.» [\[139\]](#)

Los resultados fueron sorprendentes. En un informe de 1943 a la Oficina de Armamento de la marina, Von Neumann, que normalmente limitaba el uso de signos de admiración en sus escritos matemáticos al símbolo de factorial ($4! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 = 24$), utilizaba dos veces, una detrás de otra, los signos de admiración, en este caso como signo de puntuación: «¡Hasta para

una sacudida débil la onda de choque reflejada puede ser el doble de fuerte que la frontal si se elige adecuadamente el ángulo de incidencia! — informaba—. ¡Y esto ocurre en un ángulo casi oblicuo, donde habría parecido posible un reflejo más débil!». [\[140\]](#)

Cuando Estados Unidos entró en la guerra (contra Japón el 8 de diciembre de 1941, y contra Alemania el 11 de diciembre del mismo año), «Johnny había empezado sus viajes —explicó Klári—. Casi continuamente: de Princeton a Boston, de Boston a Washington, de Washington a Nueva York, con una breve parada en Princeton y luego en los Campos de Pruebas del ejército en Aberdeen, Maryland, de nuevo a Washington, tal vez quedándose una noche en casa, y luego vuelta a empezar el recorrido, no necesariamente en el mismo orden, pero siempre arriba y abajo de la costa este, con ocasionales incursiones hacia el interior, aunque todavía sin llegar al oeste, lo que vendría más tarde». [\[141\]](#)

En febrero de 1943, después de una serie de intentos fallidos, recibió órdenes de la marina de ponerse a disposición de Inglaterra, con la misión oficial de ayudar con un enfoque estadístico en el problema de las minas, los submarinos y las contramedidas y contra-contramedidas relacionadas. La pérdida de barcos aliados amenazaba con cambiar el curso de la guerra. Lo que Von Neumann hizo realmente durante su estancia en Inglaterra sigue siendo aún hoy un misterio, particularmente en qué medida colaboró con los grupos británicos que trabajaban, en secreto, en el desciframiento de códigos y la viabilidad de las bombas atómicas. Sí sabemos que a finales de abril de 1943 hizo una visita, acompañado de John Todd, a la denominada Oficina del Almanaque Náutico de Su Majestad, una de las mayores instalaciones de cálculo numérico no secretas de la época. La oficina había sido trasladada de Greenwich a Bath para protegerla de los ataques aéreos alemanes, y en el viaje en tren de regreso a Londres, después de haber presenciado las virtudes de una caja registradora NCR (National Cash Register) de seis dígitos, Von Neumann desarrolló una breve rutina de

interpolación. Más tarde escribiría a Todd diciéndole que «en aquel período recibí un impulso decisivo que determinó mi interés en las máquinas computadoras». [\[142\]](#)

A su regreso de Inglaterra, en julio de 1943, fue reclutado para el «Proyecto Y», que era el nombre en clave del Proyecto Manhattan. Como matemático consultor del proyecto, se le permitiría salir libremente de Los Alamos, un privilegio que se negó a la mayoría de los demás participantes, a quienes se les exigió que llevaran allí a sus familias, permaneciendo secuestrados hasta el final de la guerra, «von Neumann llevó a Los Alamos los progresos en computación que se hacían en otras partes —explicó Nicholas Metrópolis—, ejerciendo de consultor en varios proyectos del gobierno a un ritmo tal que parecía estar en muchos lugares a la vez.» [\[143\]](#)

Von Neumann llegó a Los Alamos el 21 de septiembre de 1943, procedente de Chicago, junto con Isidor Rabi, en el *Super Chief*, el tren aerodinámico electrodiésel que era el buque insignia de la compañía ferroviaria Atchison, Topeka & Santa Fe. Desde la estación de ferrocarril de Lamy, Nuevo México, fueron conducidos «a través de magníficos cañones y mesetas» hasta el nuevo laboratorio, que Von Neumann describiría, en una carta a Klári escrita al día siguiente, como «una extraña mezcla de puesto militar, parque nacional del Oeste con alojamiento incluido y varias otras cosas diversas». Concluía la carta diciendo que «merece la pena meditar sobre [el proyecto], aunque probablemente uno no debería venderle el alma», y añadía, en una posdata, que «también aquí, como sospechabas, hay bastante demanda de calculadores». Dos días más tarde agregaba que «todo el lugar es más raro de lo que puedo describir. Y... créeme, si empiezo a desarrollar un ansia de normalidad y realidad, es que es bastante malo». [\[144\]](#)

Con lo de «calculadores», Von Neumann se refería a calculadoras humanas, del tipo que Oswald Veblen había reunido en el Campo de Pruebas durante la Primera Guerra Mundial. Cuando Von Neumann llegó a Los Álamos, había alrededor de veinte personas empleadas como calculadoras humanas

(inicialmente reclutadas entre las esposas de los físicos, pero pronto complementadas con refuerzos del Destacamento de Ingeniería Especial —o SED, por sus siglas en inglés— del ejército), equipadas con calculadoras de sobremesa electromecánicas Marchant de diez dígitos. Las máquinas Marchant Silent Speed —construidas en San Pablo Avenue, en Oakland, California, y requisadas en el marco del esfuerzo bélico— pesaban casi 18 kilos, incorporaban 4.000 partes móviles y llevaban un motor que giraba a 1.300 revoluciones por minuto.

Como señaló Nicholas Metrópolis, que se convirtió en director de computación de Los Alamos: «La propia naturaleza del objetivo del laboratorio, una bomba atómica, excluía una extensa prueba de campo». [\[145\]](#)

En una época en que ni siquiera se entendía bien una onda de choque, predecir el comportamiento de las armas de implosión con la suficiente precisión como para construir una que tuviera una posibilidad razonable de funcionar al primer intento era algo que estaba fuera del alcance del pequeño grupo de computación. Seguir el proceso de principio a fin requería diseñar un modelo de simulación de la propagación inicial de una onda de detonación a través del explosivo de gran potencia, de la transmisión de la onda de choque resultante a través del reflector de neutrones hasta el material fisible (incluida la reflexión de dicha onda de choque al alcanzar el centro), la propagación de otra onda de choque al explotar el núcleo, la salida de dicha onda de choque (seguida de una onda de rarefacción igualmente violenta) a la atmósfera a través de los restos de la explosión anterior y, finalmente, el reflejo de la onda expansiva resultante si la bomba estaba en el suelo o cerca de él. Von Neumann había llegado justo a tiempo. Se requisó un juego de máquinas de contabilidad y tabuladoras a base de tarjetas perforadas a IBM, a la que no se podía informar de adonde se llevaban o por qué. Las máquinas —tres multiplicadoras 601, una tabuladora 402, una reproductora, una verificadora, una clasificadora y una intercaladura— llegaron, en enormes cajas de madera, sin documentación ni

personal de instalación. Se preguntó a IBM cuál era el nombre de su mejor técnico de entre los que habían sido reclutados por el ejército, y de inmediato se le proporcionó una acreditación de seguridad y se le reasignó a Los Alamos. Pero esto llevó su tiempo. Mientras tanto, Stanley Frankel, un alumno de posgrado de Oppenheimer en Berkeley al que se había puesto a cargo del grupo de computación manual, y Richard Feynman, un estudiante de posgrado de Princeton (y ladrón de cajas fuertes aficionado) que se apuntaba a cualquier desafío no autorizado, se las arreglaron para desembalar las máquinas y ponerlas en funcionamiento.

Feynman y Frankel se engancharon a la tarea. «El señor Frankel, que inició este programa, empezó a sufrir del mal del ordenador que cualquiera que trabaje con ordenadores conoce —explicaría más tarde Feynman—. El problema de los ordenadores es que uno juega con ellos.» Feynman y Frankel, junto con Nicholas Metropolis, adaptaron las máquinas de IBM para acelerar el trabajo del grupo de computación manual. «Si metíamos el suficiente número de esas máquinas en una habitación, podíamos coger las tarjetas y ponerlas formando un ciclo —explicó Feynman—. Cualquiera que realice cálculos numéricos sabrá exactamente de qué estoy hablando, pero por entonces esto era algo nuevo: producción en serie con máquinas.» [\[146\]](#)

La estrategia consistía en partir de un estado inicial predeterminado y diseñar un modelo de simulación del progreso de la implosión punto a punto en el espacio y paso a paso en el tiempo. Se establecía una sola tarjeta perforada inicial para cada punto del espacio, de modo que un paquete de dichas tarjetas representara el estado de la implosión en un momento dado del tiempo. «En la práctica, procesar un paquete de tarjetas a lo largo de un ciclo de cálculo venía a integrar las ecuaciones diferenciales un paso por delante en la dimensión temporal —explicó Metrópolis—. Este ciclo requería procesar las tarjetas por medio de una docena más o menos de máquinas distintas, donde cada tarjeta consumía de uno a cinco segundos en cada máquina.» [\[147\]](#) El resultado era un nuevo paquete de tarjetas, que se

utilizaba como entrada para el siguiente paso temporal. El proceso resultaba tedioso, repetitivo, carecía de margen de tolerancia al más mínimo error y acababa por atascarse.

«El verdadero problema era que nadie les había dicho nunca nada a aquellos tíos —expuso Feynman—. El ejército los había seleccionado a lo largo y ancho del país para algo llamado Destacamento de Ingeniería Especial; chicos inteligentes con la enseñanza secundaria y con dotes para la ingeniería. Los enviaban a Los Álamos. Los metían en barracones. Y no les decían nada.» Feynman obtuvo permiso de Oppenheimer para darles una conferencia a los reclutas. «Todos ellos se sintieron emocionados: “¡Estamos librando una guerra! ¡Ahora vemos qué es!”. Sabían lo que significaban los números. Si se producía una presión más elevada, eso significaba que había más energía liberada. ¡Transformación completa! Empezaron a inventar formas de hacerlo mejor. Mejoraron el método. Trabajaban de noche.» [\[148\]](#)
La productividad se multiplicó por diez.

Von Neumann se encontró de nuevo rodeado de las tarjetas perforadas que recordaba de cuando su padre se traía a casa del trabajo piezas del sistema de control del telar Jacquard. «En marzo o abril de 1944 —contó Metrópolis—, Von Neumann pasó dos semanas trabajando en el funcionamiento de las máquinas de tarjetas perforadas, pasando las tarjetas por las diversas máquinas, aprendiendo a cablear cuadros de conexiones y a diseñar esquemas de tarjetas, además de familiarizarse con las operaciones de las máquinas.» [\[149\]](#)

Pasaron menos de dos años entre los primeros y vacilantes modelos teóricos y la exitosa prueba —con el nombre en clave de Trinidad— de un arma de implosión realizada en el extremo norte del polígono de tiro de Alamogordo el 16 de julio de 1945. Pese a las presiones para que se completara el trabajo, los físicos encontraban tiempo para relajarse. «Los domingos solíamos ir a caminar —recordaba Feynman—. Caminábamos por los cañones, y a menudo íbamos a andar con Bethe, Von Neumann y Bacher.

Era un gran placer. Y Von Neumann me dio una idea interesante: que no tienes que responsabilizarte del mundo en el que estás. De modo que, como consecuencia del consejo de Von Neumann, he desarrollado un sentimiento muy fuerte de irresponsabilidad social. Eso me ha vuelto un hombre muy feliz desde entonces.» [\[150\]](#)

Con Von Neumann, raras veces se alzaba el velo del secretismo. «Una vez, a comienzos de 1945, volvió de Los Alamos y empezó a comportarse de la más inusual manera “johnnyana” —relató Klári—. Llegó a casa a media mañana, se fue derecho a la cama y estuvo durmiendo doce horas. Nada que pudiera hacer me habría preocupado más que el hecho de que Johnny se saltara dos comidas, por no hablar de que nunca le había visto dormir tanto rato seguido. Esa noche, ya tarde, se despertó y empezó a hablar a una velocidad que hasta para él resultaba extraordinariamente rápida.»

«Lo que estamos creando en este momento es un monstruo cuya influencia va a cambiar la historia, si es que aún queda historia alguna —le explicó a Klári, según contó ella misma—, pero sería imposible no llevarlo a cabo, no solo por razones militares, sino porque también sería poco ético desde el punto de vista de los científicos no hacer lo que ellos saben que es factible, por muy terribles que puedan ser sus consecuencias. ¡Y esto es solo el principio!»

Las preocupaciones que Von Neumann expresó aquella noche no tenían tanto que ver con las armas nucleares como con los crecientes poderes de las máquinas. «Mientras especulaba sobre los detalles de sus futuras posibilidades técnicas —añadió Klári—, poco a poco fue cayendo en tal estado de nerviosismo que finalmente le aconsejé que se tomara un par de pastillas para dormir y una bebida muy fuerte para devolverle al presente y conseguir que se relajara un poco en lo tocante a sus propias predicciones de una fatalidad inevitable.»

«A partir de entonces, la fascinación y la preocupación de Johnny por lo que iba a depararnos el futuro nunca cesaron», concluye el relato de Klári.

Durante los siete años siguientes, Von Neumann descuidó las matemáticas y se consagró al avance de la tecnología en todas sus formas. «Era casi como si supiera que ya no quedaba mucho tiempo.» [\[151\]](#)

No tenemos más que indicios de los últimos pensamientos de Von Neumann. «En la medida en que fue cada vez más consciente de que el control de las fuerzas físicas de la naturaleza que él y sus compañeros de trabajo habían puesto en manos de sus semejantes podía utilizarse para el mal además de para el bien, sintió con una intensidad, que fue en constante aumento, los problemas morales vinculados al mayor de todos los triunfos científicos modernos —diría el padre Anselm Strittmatter, el monje benedictino que tantas horas pasó a la cabecera de Von Neumann durante sus últimos meses y le administró los últimos sacramentos a su muerte—. En cuanto a su papel en esa compleja situación, pese a las sombrías posibilidades que imaginó, él no tenía ni dudas ni remordimientos.» [\[152\]](#)

«Hay una fuerza unificadora detrás de todas las manifestaciones de la naturaleza que no podemos comprender plenamente, pero que podemos tratar de explicar con los medios de los que disponemos —dijo Nicholas Vonneumann, recapitulando la vida de su hermano—. Fue con ese espíritu con el que John intentó comprender... los misterios de las partículas atómicas y subatómicas por medio de la mecánica cuántica, los misterios del tiempo... por medio de la hidrodinámica y la estadística, los misterios del sistema nervioso central por medio de... los ordenadores artificiales, y los misterios de la genética y la herencia por medio de su teoría de los autómatas autorreproductores.» [\[153\]](#)

Ni siquiera Klári, que estuvo más cerca que nadie de Von Neumann, fue nunca totalmente capaz de entender a aquella «persona extraña, contradictoria y polémica: infantil y afable, sofisticada y salvaje, extraordinariamente inteligente, pero con una capacidad muy limitada, casi primitiva, para manejar sus emociones; un enigma de la naturaleza que habrá de quedar sin resolver». [\[154\]](#)

«No importaba desde qué punto de vista lo observarás: siempre parecía pertenecer a otro sitio —explicó Klári—. Los matemáticos puros afirmaban que se había convertido en un físico teórico; los físicos teóricos lo consideraban una gran ayuda y un asesor en matemática aplicada; en el campo de la matemática aplicada se sentían impresionados de que un matemático tan puro, desde su torre de marfil, mostrara tanto interés en sus problemas aplicados, y sospecho que en determinados círculos del gobierno podían haber pensado en él como un físico experimental, o hasta un ingeniero.» [\[155\]](#) El 6 de agosto de 1945, una bomba atómica de trece kilotones alimentada por uranio fue lanzada sobre Hiroshima, a la que siguió otra de veinte kilotones alimentada por plutonio, lanzada sobre Nagasaki el 9 de agosto. Los japoneses se rindieron el 15 de agosto. «¿No es maravilloso que la guerra haya terminado? —Le escribió Marina a Klári el 28 de agosto—. ¿Papá va a seguir viajando tanto ahora que ha acabado la guerra? Espero que no.» [\[156\]](#) Sin embargo, los viajes de Von Neumann —entre Princeton, Aberdeen, Los Alamos, Santa Mónica, Chicago, Oak Ridge y Washington— iban a continuar.

La Segunda Guerra Mundial había terminado, pero había comenzado la guerra fría.

* * * * *

Capítulo 5

MANIAC

Pongamos que todo el mundo exterior consiste en una larga cinta de papel.

JOHN VON NEUMANN, 1948

El lunes 12 de noviembre de 1945, a las 12.45 del mediodía, un grupo de seis personas, dirigidas por John von Neumann, se reunieron en el despacho de Vladimir Zworykin, en los laboratorios de investigación de la RCA en Princeton, Nueva Jersey. Vladimir Kosma Zworykin, un pionero de la televisión (y la última entrada en muchas enciclopedias), fue un profeta que vivió para lamentar que la capacidad de transmisión de información de su invento se hubiera convertido en un canal para emitir tanto ruido. El capitán Herman Goldstine (cedido por el Departamento de Armamento del ejército estadounidense y el Campo de Pruebas de Aberdeen) era uno de los principales artífices del ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer, «Integrador y Computador Electrónico Numérico»), cuya existencia no se haría pública hasta febrero de 1946. El estadístico John Tukey (de la Universidad de Princeton y los Laboratorios Bell) actuaba de vínculo directo con Claude Shannon, cuya teoría matemática de la comunicación mostraba como, a partir de componentes no fiables, se podía construir un ordenador que funcionara de manera fiable de un ciclo al siguiente. Por su parte, Jan Rajchman y Arthur Vanee eran ingenieros y George Brown, estadístico, de la RCA. Aquella primera reunión de los miembros del Proyecto de Computador Electrónico del Instituto de Estudios Avanzados estableció los principios que guiarían el destino de la informática durante los sesenta años siguientes.

«El corazón del sistema es un reloj central, que soporta una enorme carga», informaban las actas de la reunión. La circuitería sería modular, ya que «este tipo de diseño es favorable a la producción en serie», explicaban los ingenieros. «*Las palabras* que codifican las órdenes son manejadas en la memoria exactamente igual que números», explicaba a su vez Von Neumann, rompiendo así la distinción entre números que *significan* cosas y números que *hacen* cosas. Había nacido el *software*. Se iba a dar pleno control a los códigos numéricos, incluido el poder de modificarse a sí mismos. [\[157\]](#)

La era de la electrónica se inició en 1906 con la invención, por parte de Lee De Forest, de la válvula o tubo de vacío, o, como la llamarían los británicos (liderados por John Ambrose Fleming, cuyo trabajo precedió al de De Forest), la válvula termoiónica. En el interior de una lámpara de cristal en la que se había hecho el vacío, se calentaba un cátodo cargado a una temperatura lo bastante alta como para provocar el desprendimiento de electrones, cuyo flujo en dirección al ánodo (o placa) podía controlarse por medio de una corriente secundaria aplicada a uno o varios filamentos muy finos, conocidos como «rejillas». La conmutación (y la amplificación de la señal) resultaba ahora posible a radiofrecuencias, en lugar de verse limitada por la velocidad de los relés y el alfabeto Morse.

Zworykin, el menor de siete hermanos, nació en 1889 en una familia propietaria de barcos de vapor en el río Oka, en Rusia. Tenía diecisiete años y era alumno del Instituto de Tecnología de Petrogrado (San Petersburgo) cuando aparecieron los primeros tubos de vacío, y empezó a utilizar dichos instrumentos en el laboratorio de física para realizar experimentos no autorizados que iban más allá de los problemas que se le asignaban en clase. El profesor Boris Rosing se llevó aparte a Zworykin y, en lugar de reprimirle, le ofreció un puesto en su laboratorio privado. Rosing producía sus propios tubos de electrones, lo que por entonces requería construir sus propias bombas de vacío y crear a partir de la fórmula su propio cristal. Él

enseñó a Zworykin no solo el comportamiento de los electrones en el vacío dentro de la lámpara de cristal, sino también el modo en que se podía forzar a dichos electrones cautivos a comunicarse con el mundo de luz exterior.

«Descubrí que estaba trabajando en el problema de la televisión, del que yo no había oído hablar nunca —recordaría Zworykin sesenta años después—. Aquel fue mi primer contacto con el problema que a la larga me ocuparía durante la mayor parte de mi vida.» Para cuando Zworykin se licenció en ingeniería eléctrica, en 1912, «Rosing contaba con un sistema viable, consistente en unos espejos rotatorios y una fotocélula en el captor, y un tubo de rayos catódicos con un vacío parcial que reproducía imágenes muy toscas por el cableado al otro lado del banco». [\[158\]](#) Gran parte de la posterior trayectoria profesional de Zworykin estaría encaminada a inventar mejores formas de traducir fotones en electrones y viceversa, y la televisión comercial sería el modo de hacerlo rentable.

Rosing le consiguió a Zworykin un puesto para trabajar en la difracción de rayos X con Paul Langevin en París, hasta que su labor se vio interrumpida por el estallido de la Primera Guerra Mundial. Tras regresar a Rusia, Zworykin se alistó en el ejército y ascendió hasta convertirse en oficial del Cuerpo de Señales, donde sus conocimientos de radio y su capacidad para arreglar toda clase de máquinas, desde generadores hasta ametralladoras, le permitieron moverse libremente entre las tropas y evitar su ejecución por parte de toda una serie de captores cuando la guerra se acercaba a su fin. Durante la Revolución bolchevique y la posterior contrarrevolución, en las zonas más remotas de Rusia la radiotelegrafía era el único modo de determinar quién ocupaba el poder en un momento dado. A la larga Zworykin escapó siguiendo el curso del río Ob, a través de una campiña cuyos residentes, al carecer de telecomunicaciones, ni siquiera sabían que había habido una revolución; alcanzó el Ártico ruso y de ahí, con escalas en Nova Zemlyá, Tromso, Copenhague y Londres, llegó a Nueva York el día de Nochevieja de 1919.

Zworykin se presentó a Boris Bachmeteff, el embajador ruso en Washington, que todavía no había sido reemplazado por su sucesor soviético, y consiguió trabajo como operador de máquinas sumadoras en la Comisión Rusa de Compras, en Nueva York. Su esposa, Tatiana, a la que había dejado en Rusia, no tardó en seguirle a Estados Unidos. En 1920, tras el nacimiento de su primer hijo, Zworykin se unió a un pequeño grupo de emigrados rusos como él que trabajaban en los laboratorios de la Westinghouse, en East Pittsburgh, donde pudo volver a trabajar en la televisión en sus ratos libres. Hubo de afrontar toda una serie de obstáculos, entre ellos la implosión de un prototipo de tubo de imagen que se deslizó del asiento trasero de su coche cuando se paró en un semáforo en rojo. El ruido, muy similar a un disparo, atrajo la atención de un agente de policía, que receló aún más al oír el intento de explicación de Zworykin, en un inglés chapurreado, acerca de cómo se podían transmitir imágenes por ondas de radio al dispositivo que yacía hecho añicos en la parte trasera de su coche. «¿Así que usted ve imágenes en la radio? ¡Muy bien, amigo!», refunfuñó el policía antes de llevarse a Zworykin a la cárcel hasta que se aclararan los hechos. [\[159\]](#)

Después de no lograr interesar a la Westinghouse —entonces enfrascada en una encarnizada lucha contra General Electric— en la comercialización de la televisión, Zworykin fue transferido a la RCA (sucesora de la American Marconi Company y progenitura de la actual NBC), donde David Sarnoff, otro expatriado ruso, puso a su disposición los recursos de la compañía. Sarnoff terminaría por enterrar 50 millones de dólares en el desarrollo de la teledifusión, además de librar una prolongada batalla jurídica por un conflicto de patentes contra el inventor estadounidense Philo Farnsworth, que había desarrollado por su cuenta un tubo de cámara por almacenamiento de carga mejorado que, en opinión de los tribunales, había precedido al iconoscopio de Zworykin, el cual, adoptando las mejoras de Farnsworth, constituía la base del sistema de televisión de la RCA.

En 1941, Zworykin fue nombrado director de los nuevos laboratorios de investigación de la RCA en Princeton, situados junto al Instituto Rockefeller de Investigación Médica y a unos tres kilómetros del Instituto de Estudios Avanzados, en la parte oeste de la antigua autopista de peaje Trenton-New Brunswick, hoy Ruta 1. Además de la televisión comercial —quizá un arma tan poderosa contra el comunismo como los misiles y las bombas—, Zworykin contribuyó a traer al mundo el tubo fotomultiplicador (para ver en la oscuridad) y el microscopio electrónico (para ver más allá de la resolución de la luz visible). Dedicó sus últimos años a aplicar la electrónica a la investigación médica y biológica. «Uno no puede tropezar con una idea a no ser que vaya corriendo», aconsejaba Zworykin a quienes se incorporaban a su laboratorio. [\[160\]](#)

En octubre de 1945, y por recomendación de Von Neumann, Zworykin, que había estado viviendo en una casa de alquiler al lado de la de los Veblen, logró que el Instituto hiciera una excepción en su política de vivienda que le permitió comprar una casa en el enclave reservado al cuerpo docente, al final de Battle Road, por la que pagó 30.000 dólares en efectivo al paleógrafo Elias Lowe. Herbert Maass se opuso, no a Zworykin, sino «a un beneficio tan sustancial para el profesor Lowe». [\[161\]](#)

La estrecha relación de Zworykin con Theodore von Kármán, que le dio acceso a instalaciones militares secretas para trabajar en sistemas de armamento electrónico, provocó recelos en el FBI. A pesar de su historial antisoviético y de sus contribuciones a la defensa estadounidense, entre las que se incluían las mirillas de visión nocturna y las bombas guiadas por televisión, en 1945 se le denegó el permiso para viajar a Moscú con una delegación de tecnólogos estadounidenses. J. Edgar Hoover en persona le calificó de subversivo, y sus actividades (incluidas las visitas a su amante en Filadelfia) serían vigiladas hasta 1975. En 1956 se negó a cooperar con un interrogador del FBI, afirmando: «Me fui de Rusia para librarme de la policía estatal». [\[162\]](#)

Para Zworykin, el desarrollo de la electrónica podía dividirse en tres épocas. En la primera, que se inició con la invención del audión por parte de De Forest en 1906 y terminó con la Primera Guerra Mundial, «se controlaban corrientes de electrones en tubos de vacío de manera muy similar a como una válvula de vapor controla el flujo de vapor en un conducto —explicó—. No se prestaba más atención al comportamiento de los electrones individuales en el tubo que la que habitualmente se dedica al movimiento de las moléculas individuales de vapor en la válvula».

En el segundo período, iniciado en la década de 1920, proseguía Zworykin, «se aplicó un enfoque dirigido, en lugar de aleatorio, al movimiento de los electrones en el vacío, en el tubo de rayos catódicos». En el tercero, que comenzó en la década de 1930, los haces de electrones se subdividieron en grupos. «Dicha subdivisión se basaba, o bien en el tiempo, donde los electrones se amontonaban en ciertas fases de un campo al que se aplicaba una alta frecuencia, como en el klistrón o el magnetrón, o bien en el espacio, como en los dispositivos de formación de imágenes —explicaba Zworykin—. El microscopio electrónico y el tubo de imagen son los representantes típicos de este grupo.» [\[163\]](#)

Durante la Segunda Guerra Mundial, Zworykin y su protegido Jan Rajchman, un expatriado polaco educado en Zurich que se había incorporado al grupo de Zworykin el día de Año Nuevo de 1936, intentaron dar comienzo a una cuarta época en la evolución de los tubos de vacío. En 1939, cuando Alemania invadió Polonia, el coronel Leslie Simón, del Laboratorio de Investigación Balística del ejército estadounidense, pidió ayuda a la RCA con respecto a la forma de mejorar las posibilidades de un artillero antiaéreo de derribar aviones enemigos. Para alcanzar blancos en tierra, un artillero podía recurrir a tablas de disparos preparadas de antemano. Pero lanzar un proyectil contra un avión en movimiento requería hacer cálculos sobre la marcha, incluida una estimación de última hora de la trayectoria de vuelo para sincronizar la espoleta a fin de que el proyectil explotara lo más cerca

posible de la aeronave. «Los alemanes tenían un gran dominio del aire, mientras que a los aliados se les daba muy mal el control del fuego antiaéreo —explicó Rajchman—. El coronel Simón tuvo la intuición de pensar que la electrónica podía proporcionar la velocidad requerida.» [\[164\]](#)

Con el estímulo de Zworykin, Rajchman desarrolló una serie de tubos de procesamiento y de memoria digitales que funcionaban mediante la conmutación, la activación de puertas y el almacenamiento de impulsos de electrones en lámparas aisladas a velocidades megacíclicas. El Computrón y el Selectrón, ancestros antediluvianos de los modernos circuitos integrados de estado sólido, eran el equivalente al microprocesador y el chip de memoria en versión tubo de vacío. «La idea era hacer un solo tubo que pudiera multiplicar dos números y sumar un tercer número al producto, expresándose dichos números en código binario digital —explicó Rajchman—. Una serie de haces de electrones emitidos por un solo cátodo central eran desviados por tres electrodos distintos, que correspondían respectivamente a un dígito del multiplicador, un dígito del multiplicando y un dígito para lo que “te llevabas”... De hecho, el tubo estaba hecho con “tecnología de vacío integrado”, como la denominaríamos hoy.» [\[165\]](#)

El Computrón, inventado por Rajchman y Richard L. Snyder, era un tubo de procesamiento aritmético de 64 pines y 14 bits, que contenía 737 piezas distintas. Una vez sellada la lámpara, ya no era posible hacer ningún ajuste. «Los números pueden sumarse o multiplicarse rápidamente y sin la complicación de tener que sincronizar impulsos, despejar impulsos y demás», escribieron Rajchman y Snyder en su solicitud de patente para un «Dispositivo de Cálculo» el 30 de julio de 1943. Sin embargo, cuando se pudo hacer una demostración con un prototipo de prueba de concepto, «resultó evidente que nuestro trabajo pionero no podía conducir a una guía antiaérea que pudiera utilizarse en el combate real en un futuro inmediato».

[\[166\]](#)

El Selectrón, por su parte, era un tubo de memoria electrostático de 4.096 bits y acceso aleatorio íntegramente digital, construido con la tecnología del tubo de vacío, pero funcionalmente equivalente a los modernos chips de memoria a base de silicio. «Se debería poder ir a cualquier elemento sin tener que pasar necesariamente por todos los demás [y] debería recordar indefinidamente sin necesidad de rejuvenecimiento... simplemente memorizar para siempre hasta que nosotros queramos la información», explicaba Rajchman en 1946. [\[167\]](#) Fue la perspectiva del Selectrón la que convenció a Von Neumann de que el camino a la computación digital pasaba por la RCA. «John von Neumann venía a vernos con frecuencia —contó Rajchman—, y llegó a estar muy familiarizado con nuestra investigación.»

Junto con el Computrón y el Selectrón, Rajchman también desarrolló la tabla de función de matriz de resistencias, que proporcionaba una memoria de solo lectura, o ROM. «Hicimos series de matrices bastante grandes que llevaban aproximadamente ciento cincuenta mil resistencias», explicó. El 30 de octubre de 1943 presentó una solicitud de patente para un «Dispositivo de Computación Electrónica» íntegramente digital que realizaría operaciones aritméticas binarias a velocidades electrónicas, utilizando matrices de resistencias para almacenar tanto tablas de función invariantes como datos variables con los que operar. «Toda la computación se realiza en el sistema de numeración binario, de modo que cualquier número se expresa como una suma de potencias de dos.» [\[168\]](#) El ordenador así propuesto, a la vez paralelo y asíncrono, habría sido excepcionalmente rápido, y carecía de partes móviles. Las matrices de resistencias podían ser inicializadas con diferentes funciones y datos según se necesitara, adaptándolas a distintas armas.

Las piezas de la computación universal iban encajando en su lugar. «No sabría decir exactamente —recordaba Rajchman en 1970— cuándo comenzamos a olvidar los problemas para los que se suponía que se construía la máquina, y empezamos a trabajar en serio en un ordenador universal para todos los problemas.» [\[169\]](#)

Cuando Estados Unidos se disponía a entrar en la guerra había escasez de calculadoras humanas en el Campo de Pruebas de Aberdeen, de modo que se creó una sección de computación auxiliar en la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pensilvania, donde podía reclutarse a calculadoras humanas de entre los estudiantes, echando mano en caso necesario de las universidades y escuelas vecinas. Pero los esfuerzos combinados de ambas secciones de computación se habían revelado incapaces de seguir el ritmo de los avances en armamento realizados desde 1918. Tanto los proyectiles como sus objetivos se movían a velocidades cada vez mayores. Una calculadora humana que trabajara con una máquina de calcular de escritorio necesitaba alrededor de doce horas para determinar una sola trayectoria, y se requerían cientos de ellas para elaborar una tabla de disparos aplicable a una sola combinación concreta de arma y proyectil. El analizador diferencial electromecánico del Laboratorio de Investigación Balística (una versión de diez integradores del ordenador analógico que Vannevar Bush había desarrollado en el MIT) necesitaba diez o veinte minutos, pero, aun así, completar una sola tabla de disparos requería aproximadamente un mes de trabajo ininterrumpido. Incluso con turnos dobles (y un segundo analizador diferencial de catorce integradores) trabajando en la Escuela Moore, el ejército no podía seguir el ritmo. «El número de tablas cuyo trabajo no se ha iniciado debido a la falta de instalaciones de computación excede con mucho el número de las que están en progreso —informaba Herman Goldstine en agosto de 1944—. Actualmente se reciben demandas de preparación de nuevas tablas a razón de seis por día.» [\[170\]](#)

En julio de 1942, Herman Heine Goldstine estaba dando clases introductorias de balística exterior para Gilbert A. Bliss en la Universidad de Chicago cuando lo llamaron a filas, lo asignaron a la fuerza aérea (por entonces todavía bajo el ala del ejército) y lo enviaron a Fort Stockton, California, donde se preparaba el despliegue en el Pacífico contra Japón. Alertado por Gilbert

Bliss, Oswald Veblen «empezó a mover engranajes —contó Goldstine—. No estaba claro si yo iba a ir a ultramar o Veblen llegaría primero». El mismo día en que Goldstine recibió órdenes de embarcar rumbo al Pacífico, también recibió otras, gracias a Veblen, de presentarse en Aberdeen. Entonces telefoneó al general al mando, que le aconsejó: «Hijo, si yo estuviera en tu lugar saldría del campamento. Si tienes coche, yo lo cogería y empezaría a conducir». Goldstine se dirigió hacia el este. [\[171\]](#)

A su llegada a Aberdeen, el teniente Goldstine fue puesto a las órdenes del coronel Paul N. Gillon, responsable de la subunidad de computación del Laboratorio de Investigación Balística en la Escuela Moore. La situación no parecía buena. «Ningún aumento del personal de calculadoras humanas (por entonces alrededor de doscientos) iba a resultar suficiente —escribió Goldstine (ahora capitán) en un informe en la posguerra—. En consecuencia se decidió... fomentar el desarrollo de una máquina radicalmente nueva, el ENIAC, que, de tener éxito, reduciría el tiempo de computación consumido en la preparación de una tabla de disparos de unos meses a unos días.» [\[172\]](#)

El ENIAC fue construido por un equipo dirigido por John W. Mauchly y J. Presper Eckert, que tenían respectivamente treinta y seis y veinticuatro años de edad cuando se inició su proyecto, en 1943. Mauchly había estado enseñando física en la Universidad Ursinus, en las afueras de Filadelfia, y tratando de demostrar en sus ratos libres la existencia de una correlación estadística entre la actividad de las manchas solares y las variaciones climáticas, cuando hizo un curso de formación introductorio de electrónica de defensa en la Escuela Moore. Antes de que hubiera completado su formación, le pidieron que se uniera al cuerpo docente, y así lo hizo. Por su parte, Eckert era un filadelfiano que había realizado su primer trabajo, mientras cursaba todavía la secundaria, en el laboratorio de investigación de televisión de Philo Farnsworth, de donde salió con profundos conocimientos de electrónica, además de un persistente recelo hacia Zworykin y la RCA.

La zona de Filadelfia era la sede de Philco, la RCA y numerosos laboratorios de investigación electrónica más pequeños, entre ellos el Instituto Franklin, resultado de los esfuerzos de Benjamin Franklin por llevar la filosofía experimental al Nuevo Mundo. Eckert y Mauchly eran típicos emprendedores estadounidenses, cuyos orígenes se hallaban muy alejados de la San Petersburgo prerrevolucionaria de Zworykin o la Budapest de los años veinte de Von Neumann. Según su compañero de clase Willis Ware, «Pres Eckert era el chico que siempre lo tenía todo... su padre era muy rico, poseía muchos bienes inmuebles en Filadelfia, de modo que Pres siempre tenía lo más grande, lo mejor de lo mejor y lo más exquisito». En opinión de Eckert, muchos de los científicos que abandonaron el mundo académico por la industria informática, sin ninguna experiencia previa de cómo funcionaban los negocios en Estados Unidos, «veían el mundo como ellos creían que debería ser, y no como realmente era». [\[173\]](#)

Mauchly y Eckert empezaron por tratar de mejorar la precisión del analizador diferencial de la Escuela Moore, sustituyendo por circuitos electrónicos los acoplamientos electromecánicos cuya precisión se deterioraba de manera impredecible, sobre todo en los problemas con numerosos pasos. En agosto de 1942, Mauchly formalizó sus convicciones de que la única forma de avanzar residía en un «computador» íntegramente electrónico e íntegramente digital (que él denominó *computer* para distinguir la máquina que proponía de las calculadoras humanas [*human computers*] que poblaban la Escuela Moore). [\[174\]](#)

La propuesta oficial de un «Analizador Dif. Electrónico» se formuló el 2 de abril de 1943. El uso de la abreviatura intencionadamente ambigua «Dif.» denotaba una transición del «diferencial» analógico a la «diferencia» digital, cuyas implicaciones se han dejado sentir desde entonces. «Mauchly, familiarizado con los contadores Geiger en los laboratorios de física, había comprendido que, si los circuitos electrónicos podían contar, también podían hacer operaciones aritméticas y, por ende, resolver, entre otras cosas,

ecuaciones de diferencias, ¡a velocidades casi increíbles!», explicó Nicholas Metrópolis, quien planteó el inicial «problema de Los Alamos» para poner a prueba la nueva máquina. Eckert, que era el instructor de laboratorio del curso de formación de Mauchly, se convirtió en el ingeniero jefe del proyecto. [\[175\]](#)

Ante las fechas límite que imponía la guerra y con una serie de plazos de financiación a seis meses, se contrató a trabajadores que iban desde «obreras fabriles hasta operarios de teléfonos pluriempleados» para construir la máquina, de treinta toneladas, cuyo diseño modular facilitaría su transporte al Campo de Pruebas cuando estuviera terminada. [\[176\]](#) Veinte procesadores (o «acumuladores») independientes y comunicados entre sí contaban con la ayuda de un multiplicador y de un divisor/extractor de raíces cuadradas combinado, mientras que la entrada y salida de datos se realizaban por medio de máquinas de tarjetas perforadas IBM. El programa estaba distribuido localmente entre los distintos procesadores individuales, coordinados por un «programador maestro» con una capacidad de almacenamiento de 60 bits.

Se montaron diez biestables (dos tubos de vacío conmutados de forma alterna de modo que uno u otro estuvieran siempre en un estado activado y conductor) en forma de contadores anulares de diez etapas que representaban cada dígito decimal en los acumuladores de diez dígitos, formando, en la práctica, el equivalente electrónico de una máquina de sumar Marchant, pero funcionando a 300.000 revoluciones por minuto. Una unidad de inicio y una unidad de sincronización proporcionaban un reloj central de 5 kilociclos, mientras que un transmisor constante traducía los datos de las tarjetas perforadas, utilizando baterías de relés como búfer, en señales eléctricas que fueran inteligibles para la máquina. Tres tablas de función de matriz de resistencias, a cuyo diseño había contribuido Jan Rajchman en la RCA, almacenaban 104 números de 12 dígitos cada uno.

El ENIAC, que incorporaba 17.468 tubos de vacío y 1.500 relés, consumía 174 kilovatios de energía, ocupaba una habitación de 10 por 17 metros e incorporaba 500.000 conexiones soldadas a mano. «En sí mismo el ENIAC, extrañamente, era un ordenador muy personal —recuerda el matemático Harry Reed, que llegó a Aberdeen en 1950—. Hoy pensamos en un ordenador personal como uno que puedes llevarte contigo. El ENIAC era en realidad uno en el que más bien vivías dentro.» Inicialmente el ejército había ofrecido el contrato para su construcción a la RCA, pero, según Rajchman, «Zworykin... estimó que requeriría alrededor de 20.000 tubos... y que, en consecuencia, el recorrido libre medio, el tiempo entre fallos, sería de diez minutos más o menos... No quiso implicarse en algo tan enorme y poco fiable como aquello». La RCA rehusó el contrato, pero aportó gratuitamente sus conocimientos. «Nos pidieron que explicáramos todo lo que sabíamos a la Escuela Moore —recordaba Rajchman—. Obviamente, había toda una atmósfera de gran fervor por la guerra, y nadie se preocupaba de las patentes o las prioridades.» [\[177\]](#)

En opinión del juez de distrito de Minneapolis Earle R. Larson, que analizó los seis años transcurridos y las 34.426 pruebas materiales presentadas en el caso de conflicto de patentes «Honeywell Inc. versus Sperry Rand Corp.», varios elementos clave del ENIAC (cuyos derechos de patente, inicialmente reclamados por Eckert y Mauchly, habían pasado a Sperry Rand) habían sido ideados con anterioridad por John Vincent Atanasoff, de Ames, Iowa, que en junio de 1941 le había hecho una demostración de un computador digital electrónico a Mauchly. El ordenador de Atanasoff tenía un procesador central íntegramente electrónico, con una memoria consistente en 3.000 condensadores individuales distribuidos en pistas de 30 bits sobre la superficie de dos tambores rotatorios. Mauchly se fue a la tumba afirmando que había aprendido muy poco de Atanasoff, mientras que este abandonó su proyecto cuando fue reclutado para contribuir al esfuerzo bélico en el control del fuego antiaéreo. Al terminar la guerra, Atanasoff puso en marcha un

proyecto de ordenador bajo el patrocinio del Laboratorio de Armamento Naval, pero cuando el de Von Neumann tomó la delantera se le retiró la financiación.

No fue casualidad, habida cuenta de la misión de acelerar la producción de tablas de disparos, que el ENIAC tuviera la arquitectura computacional de una habitación llena de veinte calculadoras humanas trabajando con máquinas de calcular de escritorio de diez dígitos y pasándose los resultados unas a otras. Los acumuladores operaban en paralelo, de manera similar a los procesadores de múltiple núcleo que han vuelto por sus fueros en los últimos años. «El ENIAC tenía algunos rasgos muy modernos, solo que entonces no usábamos la terminología moderna para describirlos», explicó Eckert. Reconvertido al control de programas almacenados en serie en 1947 y mejorado con 100 palabras de memoria de núcleos magnéticos en 1953, el ENIAC registró un total de 80.223 horas de funcionamiento hasta que fue apagado para siempre el 2 de octubre de 1955, a las 23.45 de la noche. [\[178\]](#)

El ENIAC fue «una aventura absolutamente pionera, el primer computador electrónico digital de uso general completamente automático», según la evaluación que hiciera Von Neumann en 1945, por más que advirtiera a Nicholas Metrópolis y otros tempranos programadores de que debían «vigilarlo como si fuera un halcón y confiar en él solo hasta donde se le pueda soltar». El proyecto era revolucionario, no por la tecnología utilizada para construirlo, sino por su escala. «Todos los tubos electrónicos, resistencias y diodos empleados en el ENIAC eran piezas descartadas tanto por la marina como por el ejército —explicó Metrópolis—, de modo que en principio el ENIAC podría haber sido construido antes de la guerra.» [\[179\]](#)

La propuesta del ENIAC no fue fácil de vender. «Cuando, como medida de precaución, se envió la propuesta a varias personas muy conocidas para su revisión, las recomendaciones resultantes fueron en cierta medida uniformemente negativas», recuerda J. Grist Brainerd, que supervisó el contrato del ENIAC en nombre de la Escuela Moore. Fue Oswald Veblen,

presidente del comité científico del Laboratorio de Investigación Balística de Aberdeen, quien le dio luz verde. El 9 de abril de 1943, Herman Goldstine ofreció una sesión informativa al director del laboratorio, el coronel Leslie E. Simón, «en la que Veblen, tras escuchar durante un rato mi presentación y balancearse sobre las patas traseras de la silla, dejó caerla con estruendo, se levantó y dijo: “Simón, dale el dinero a Goldstine”. Dicho esto salió de la habitación, y la reunión terminó con este final feliz». [\[180\]](#)

El 5 de junio de 1943 se firmó un contrato de seis meses para «la investigación y desarrollo de un integrador y computador electrónico numérico» por la cantidad de 61.700 dólares. El coronel Gillon asumió la tarea de «combatir la competencia de otros proyectos rivales, aparentemente más urgentes, pero en realidad menos importantes, durante la guerra». Tras una visita realizada el 18 de octubre de 1945, Samuel H. Caldwell, del Laboratorio de Computación de Harvard, informó a Warren Weaver de que «los muchachos estaban inmersos en dificultades técnicas. Esa máquina ofrece más dudas sobre la Habilidad de una serie de piezas de radio baratas y producidas en serie que nada que haya visto nunca, y yo no apostaría un céntimo por sus posibilidades de funcionar correctamente hasta después de haber realizado una extensa reconstrucción y sustitución de las piezas malas». [\[181\]](#) El informe estaba fechado el 16 de enero de 1946, momento en el que el ENIAC llevaba ya más de un mes trabajando con éxito en el primer problema de la bomba de hidrógeno de Los Alamos.

Von Neumann hizo su primera visita al ENIAC en agosto (según Goldstine) o en septiembre (según Eckert y Mauchly) de 1944. «Aquel momento —contó Goldstine— le cambió la vida para el resto de sus días.» Goldstine recuerda que regresaba a la Escuela Moore después de mantener una reunión en el Campo de Pruebas de Aberdeen cuando «vi al profesor Von Neumann esperando en el andén de la estación, completamente solo, y decidí ir a saludar a aquel hombre famoso... pero él se mostró absolutamente indiferente. Luego, poco a poco, empezamos a hablar de más cosas. Muy

pronto supo que estábamos construyendo una máquina que iba a efectuar trescientas multiplicaciones por segundo, y de repente cambió». [\[182\]](#)

Von Neumann, que era miembro de la Junta Consultiva Científica del Laboratorio de Investigación Balística, obtuvo autorización para examinar el ENIAC y ver cómo se sometía a los dos primeros acumuladores a un par de pruebas iniciales: calcular la solución de una ecuación diferencial e intercambiar impulsos codificados a un ritmo de 5 kilociclos. «Si hubiera empezado por hacer preguntas como “¿A qué velocidad trabaja?”, nos habríamos sentido decepcionados —cuenta Eckert—. Pero como preguntó sobre la lógica de control, se entabló una relación inmediata.» [\[183\]](#)

El ENIAC había sido concebido para poner fin al retraso en la elaboración de tablas de disparos, pero desde el primer momento Eckert, Mauchly, Goldstine y Arthur Burks (este último, un lógico y filósofo de veintiocho años reconvertido en ingeniero electrónico durante el período bélico) habían empezado a pensar en otras aplicaciones. «Se puede obtener una solución lo bastante aproximada de muchas ecuaciones diferenciales simplemente resolviendo una ecuación de diferencias asociada a ellas», había escrito Mauchly en agosto de 1942. Eso era cierto tanto en el cálculo de tablas de disparos como en la predicción del tiempo o en la resolución de los problemas de implosión que pronto ocuparían al grupo de computación de Los Álamos. «Toda la economía de la computación cambió de la noche a la mañana —explicó Goldstine—. En lugar de estar en un mundo de multiplicación cara y almacenamiento barato, nos vimos arrojados a otro en el que la primera era muy barata y la segunda, muy cara. Prácticamente todos los algoritmos que el ser humano había diseñado para realizar cálculos habían de ser reexaminados.» [\[184\]](#)

El ENIAC se programaba configurando baterías de interruptores de 10 posiciones y conectando miles de cables a mano. Se requerían horas, a veces días, para realizar un cambio de programación. «Cada paso de la programación resultaba muy caro de conseguir —señaló Eckert—. Hacían

falta cajas, cables y otras cosas. Hacer algo una segunda vez o reiterar algo —éramos cien mil veces más rápidos que un ser humano— resultaba muy barato.» [\[185\]](#)

Los datos e instrucciones se entremezclaban en el interior de la máquina. «Un impulso, independientemente del uso que tuviera, tenía la misma definición física en casi todas las situaciones en todo el conjunto del ENIAC —explicó Mauchly—. Algunos impulsos se usaban para controlar operaciones y otros para denotar datos... pero un impulso que representara un signo algebraico para algunos datos, o uno que representara un valor en dígitos, podía enviarse a un circuito de control y esperar que funcionara exactamente igual que podría hacerlo cualquier impulso de control.» Con respecto a la cuestión de cuándo tomó forma el concepto de programa almacenado, Mauchly añade que «en el ENIAC había menos de 700 bits de almacenamiento de alta velocidad», mientras que en el programador maestro y los contadores de programa individuales «se disponía aproximadamente de 150 bits de almacenamiento electrónico rápido para el “control por programa”». [\[186\]](#) Más del 20 por ciento del almacenamiento de alta velocidad original del ENIAC se utilizaba para almacenar información de programa que podía ser modificada mientras se realizaban los cálculos.

El límite del ENIAC estaba en el almacenamiento, no en la velocidad. «Imagínese que coge a veinte personas, las encierra en una habitación durante tres años, les proporciona veinte multiplicadoras de escritorio e instituye esta regla: durante todo el proceso, todos ellos en conjunto nunca podrán tener más de una página escrita completamente llena —observó Von Neumann—. Pueden borrar cualquier cantidad y escribirla de nuevo, pero en cualquier momento dado únicamente se les permite una sola página. Resulta evidente dónde está... el cuello de botella.» [\[187\]](#)

Podían utilizarse tarjetas perforadas para almacenar resultados intermedios, pero el proceso era lento y propenso al error. La prueba realizada en el ENIAC —un cálculo sobre la bomba de hidrógeno que Stan Frankel y Nick

Metrópolis trajeron de Chicago y Los Álamos en diciembre de 1945—consumió cerca de un millón de tarjetas, la mayoría de ellas empleadas para el almacenamiento temporal de resultados intermedios. «Recuerdo que Metrópolis y Frankel vinieron a explicarnos su tarea —contó Arthur Burks—. Dejaron muy claro que no podían decirnos qué eran aquellas ecuaciones.» [\[188\]](#)

«Los cálculos de Los Álamos, que se iniciaron el 10 de diciembre de 1945, representaron... la primera vez que se utilizaba la máquina en su conjunto... [y] emplearon el 99 por ciento de la capacidad de la maquinaria del ENIAC», concluía el juez Larson en su dictamen sobre el caso de conflicto de patentes «Honeywell versus Sperry Rand». Los cálculos se prolongaron durante más de un mes, hasta enero de 1946. «Las dificultades encontradas no tuvieron que ver con la máquina —declaró Presper Eckert, dando prioridad a las matemáticas sobre la física—, sino con la naturaleza matemática del problema y los errores de los matemáticos que habían diseñado el problema para la máquina.» [\[189\]](#)

«A menudo me han preguntado: «¿Qué tamaño tenía el almacenamiento del ENIAC?» —dijo Mauchly—. La respuesta es: infinito. La salida de datos en tarjetas perforadas no era rápida, pero era tan grande como quisieras. Cada tarjeta perforada que salía podía leerse de nuevo como entrada, y, de hecho, así es como Metrópolis y Frankel lograron manejar ciclo tras ciclo el gran problema de Los Alamos.» La dificultad, tal como la describía Mauchly, consistía en que «la memoria rápida no era barata y la memoria barata no era rápida». [\[190\]](#) Un biestable de tubo de vacío tenía un tiempo de respuesta del orden de un microsegundo, mientras que leer o escribir una tarjeta IBM requería del orden de un segundo. Entre una cosa y otra había una diferencia de seis órdenes de magnitud.

Eckert propuso un modo de salvar esa brecha de memoria que era a la vez rápido y barato. «El señor J. P. Eckert Jr., entonces en la Escuela Moore, concibió la idea de que el tanque acústico, a la sazón empleado en el

equipamiento del Indicador de Objetivos Móviles, podía convertirse fácilmente en la base de una forma de memoria dinámica —explicarían más tarde Von Neumann y Goldstine—. El uso de tal dispositivo permitiría almacenar 1.000 dígitos binarios al precio de entre 5 y 10 tubos de vacío en lugar de los 1.000 biestables del sistema del ENIAC.» [\[191\]](#) Las líneas de retardo acústico, desarrolladas en el Laboratorio de Radiación del MIT durante el período bélico, aprovechaban la lentitud con la que viajaban las ondas sonoras a través de un medio líquido en comparación con el desplazamiento de las ondas de radar, que viajaban a la velocidad de la luz. Una señal de radar entrante se convertía en una señal acústica por medio de un transductor de cristal situado en un extremo de un tubo lleno de líquido — el mercurio resultaba ideal—, y cuando el tren de ondas alcanzaba el extremo opuesto del tubo se convertía de nuevo en una señal eléctrica por medio de un segundo transductor, retardada, pero por lo demás inalterada. Invertiendo la señal retardada y sincronizándola con el siguiente eco de radar que devolvía, era posible eliminar el desorden de fondo para distinguir objetos (tales como aviones enemigos) que se habían movido entre un barrido del haz del radar y el siguiente.

Podían almacenarse un millar de impulsos, separados unos de otros aproximadamente por un microsegundo, en el milisegundo que necesitaba una señal acústica para recorrer la longitud de un «tanque» de 1,5 metros. Regenerando el tren de impulsos y escuchando el flujo de datos a su paso, era posible leer y escribir datos con tiempos de acceso de milisegundos. «Una vez que el dispositivo de control central escucha las 32 palabras de una columna, pasa a la columna siguiente», le explicaba Von Neumann a Warren Weaver en 1945, refiriéndose por primera vez a los segmentos de código de 30 bits como «palabras». La memoria de línea de retardo acústico se utilizaría en muchos ordenadores de programa almacenado de primera generación, aunque, como se quejara el topólogo británico Max Newman,

«su programación era como cazar ratones justo en el momento en que entraban en un agujero de la pared». [\[192\]](#)

En el momento en que Von Neumann empezó a colaborar con el grupo del ENIAC, estaba ya en marcha la planificación del sucesor de este basado en la línea de retardo. El EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer, «Computador Automático Electrónico de Variable Discreta») «sería bastante flexible en sus dispositivos de control, tendría unas cincuenta veces más memoria —esto es, sería capaz de almacenar unos mil números de diez dígitos decimales— y contendría solo alrededor de una décima parte de tubos», informaban Goldstine y Von Neumann. [\[193\]](#) La máquina se programaría cargando secuencias codificadas en la memoria de alta velocidad, en lugar de configurando a mano cables e interruptores.

«La idea del programa almacenado tal como hoy la conocemos, y que constituye una forma clara de lograr un ordenador universal, no se inventó de la noche a la mañana —explicó Rajchman—. Lejos de ello, fue evolucionando gradualmente. Primero llegaron los enchufes permutables manualmente, los relés y, finalmente, los propios contactos modificantes se convirtieron en interruptores electrónicos. Después llegó la idea de almacenar el estado de dichos interruptores en una memoria electrónica. Por último, esto dio como resultado la idea del moderno programa almacenado en el que las “instrucciones” y los “datos” se almacenan en una memoria común.» [\[194\]](#)

Ya antes del advenimiento del ENIAC, las diversas piezas de la informática de programa almacenado habían empezado a encajar en su sitio. En julio de 1944, en el contexto de las investigaciones sobre implosión de Los Alamos, Von Neumann y Stan Frankel fueron informados sobre la serie de computadores de relés que Samuel B. Williams y George R. Stibitz estaban construyendo para Bell Telephone en Nueva York. Las nuevas máquinas se controlaban mediante cinta de papel perforada, y el 1 de agosto Von Neumann informó a Oppenheimer de que «la cinta con el problema lleva

datos numéricos e instrucciones operativas». Tal como se lo describió a Oppenheimer, «una instrucción en la cinta de control tiene, pues, este aspecto: "Tómese el contenido de un registro *a* y también el contenido de un registro *b*, súmense (o réstense, o multiplíquense, etc.) y póngase el resultado en el registro *c*"». No solo los datos y las instrucciones estaban entremezcladas, sino que además el ordenador podía, en principio, modificar sus propias instrucciones: «La máquina puede usar en *a* una cinta que provenga de su propio perforador, es decir, que se haya perforado a sí misma». [\[195\]](#)

Eckert y Mauchly pensaban en términos similares. «A lo largo de todo 1944, y también en 1945 —recordaba Mauchly—, estuvimos llevando una "doble vida". Durante la mayor parte de los dos turnos, desde las ocho de la mañana hasta medianoche, tanto la construcción como las pruebas del ENIAC necesitaban supervisión. Luego, cuando los trabajadores por horas se iban a casa y los ingenieros de proyecto se "dispersaban", a Eckert y a mí nos quedaba tiempo para pensar en la "siguiente máquina". Naturalmente, la "arquitectura" o la "organización lógica" era lo primero que había que abordar. Eckert y yo pensamos mucho en ello, combinando un almacenamiento de línea de retardo en serie con la idea de un almacenamiento único para datos y programación.» [\[196\]](#)

En los últimos meses de la Segunda Guerra Mundial, Von Neumann estuvo yendo y viniendo entre Princeton, Los Álamos, Washington, Filadelfia y Aberdeen, transportando todo un flujo de nuevas ideas acerca de cómo la computación digital transformaría la ciencia y la ingeniería, y no solo para los diseñadores de armamento. «Ninguno de nosotros era lo bastante importante como para haber persuadido a la gente de aceptar esa clase de cosas —contó Goldstine—. En primer lugar, Von Neumann tenía una verdadera necesidad intrínseca en Los Alamos... Allí tenían una enorme instalación de tarjetas perforadas de IBM haciendo cálculos de implosión. Simplemente, no creo que ninguno de nosotros pudiera haber ido a

convencer a alguien como Fermi de la importancia del cálculo numérico como podía hacerlo Von Neumann.» [\[197\]](#)

A principios de 1945, durante el impulso final para terminar y someter a prueba la bomba atómica, las notas de Von Neumann sobre el proyecto del EDVAC fueron mecanografiadas bajo la supervisión de Goldstine y condensadas en un informe de 105 páginas. El «First Draft of a Report on the EDVAC» («Primer borrador de informe sobre el EDVAC»), reproducido por mimeografía y publicado en distribución limitada por la Escuela Moore el 30 de junio de 1945, esbozaba el diseño de un ordenador digital electrónico de programa almacenado y alta velocidad, incluyendo la necesaria formulación e interpretación de instrucciones codificadas, «que deben suministrarse al dispositivo con un detalle absolutamente exhaustivo». [\[198\]](#)

Los elementos funcionales del ordenador se dividían en una memoria jerárquica, un dispositivo de control, una unidad aritmética central y unos canales de entrada-salida, estableciendo las distinciones que todavía hoy se conocen como la «arquitectura de Von Neumann». La dificultad que planteaba tener que transferir constantemente tanto datos como instrucciones en uno y otro sentido por un único canal entre la memoria y el procesador, se conoce como el «cuello de botella de Von Neumann», por más que el aludido intentó, sin éxito, cortarla de raíz. «Todo el sistema estará equilibrado, de modo que, si se utiliza de forma correcta e inteligente, no habrá cuellos de botella —le explicó a Max Newman—, ni siquiera en las salidas y entradas de datos de los intelectos humanos con los que se tendrá que emparejar.» [\[199\]](#)

Cuando un tema captaba la atención de Von Neumann, él lo reconstruía en sus propios términos de abajo arriba. La computación digital no requirió ninguno de tales procesos de reducción, ya que fue todo axiomas, desde el primer momento. En 1945, el ENIAC y el EDVAC todavía eran proyectos militares clasificados (como lo eran los computadores descifradores de códigos británicos y estadounidenses). Von Neumann podía hablar

libremente de abstracciones lógicas, pero no de circuitos electrónicos concretos. Y eso fue lo que hizo. Asimismo, como diría Julian Bigelow, era lo «bastante inteligente como para saber que su fuerte no era el trabajo experimental o hacer funcionar cosas en el mundo real». [\[200\]](#)

Durante la guerra, tanto la libre publicación como los méritos individuales habían sido suspendidos, tanto para los ordenadores como para las bombas. Tras el conflicto se decidió que las bombas se mantendrían en secreto y que los ordenadores se harían públicos, lo que trajo como resultado una lucha por el reconocimiento de los méritos. El informe del EDVAC engendró una amplia controversia, pese al pequeño número de ejemplares que se distribuyeron antes de que los clichés de mimeografiado agotaran su capacidad. Von Neumann aparecía como su único autor, sin el menor reconocimiento a las contribuciones realizadas por otros miembros del grupo del EDVAC. Eckert y Mauchly, que se habían comprometido a guardar silencio sobre el ENIAC y el EDVAC, se sintieron desairados por una publicación que se basaba en su propio trabajo inédito. «Johnny reformulaba nuestra lógica, pero seguía siendo la MISMA lógica», afirmó Mauchly. [\[201\]](#) Para más inri, se consideraría que el informe del EDVAC constituía una publicación legal que invalidaba cualesquiera solicitudes de patentes no presentadas en el plazo de un año.

«Ni siquiera era un borrador cuando él lo escribió —explicó Eckert—. Escribió esas cartas a Goldstine, y, cuando le preguntamos por qué hacía eso en aquel momento, Goldstine dijo: «Solo intenta clarificar esas cosas en su propia mente, y lo ha hecho escribiéndome cartas para que podamos contestarle si no lo ha entendido correctamente".» El informe, recopilado por Goldstine y acompañado de toscos bocetos cuyos clichés habían sido grabados a mano, contenía espacios en blanco donde había que insertar las referencias. La palabra *EDVAC* nunca aparece en el texto del informe. «Captó de inmediato lo que estábamos haciendo —añadió Eckert—. Yo no sabía que iba a salir y atribuírselo más o menos como suyo.» [\[202\]](#)

«Desde luego, tengo la intención de hacer lo que pueda para mantener en lo posible este campo «en el dominio público» (desde el punto de vista de las patentes)», le explicó Von Neumann a Stan Frankel, abogando por un planteamiento de sistemas abiertos en el IAS. ^[203] «El objetivo primordial de ese informe era contribuir a clarificar y coordinar el pensamiento del grupo que trabajaba en el ED-VAC», declaró en 1947, cuando surgieron las primeras disputas sobre la disposición de los derechos de patente. El propósito secundario era publicar los resultados preliminares cuanto antes, «a fin de potenciar el desarrollo del arte de construir ordenadores de alta velocidad», explicaba, y concluía que «mi opinión personal fue en todo momento, y sigue siendo, que aquello era perfectamente apropiado y redundaba en interés de Estados Unidos». ^[204]

Pero, una vez terminada la guerra, los intereses individuales vinieron a eclipsar a los de Estados Unidos. La Escuela Moore resultaba demasiado académica para Eckert y Mauchly, e insuficientemente académica para Von Neumann. Los primeros la abandonaron para fundar la Electronic Control Company y construir ordenadores comerciales, primero el BINAC y luego el UNIVAC, durante un tiempo una marca sinónima de informática. Por su parte, Von Neumann decidió ir a construirse su propio ordenador, como instrumento científico, en otra parte. El tiempo libre robado al ENIAC, y hasta al EDVAC, no bastaba. «Era, pues, lo más natural del mundo que Von Neumann pensara que le gustaría tener una máquina tal a su propia disposición», dijo Willis Ware. «Si realmente quería un ordenador, lo que tenía que hacer era construirlo», añadió Arthur Burks. ^[205]

La idea inicial de Von Neumann era trasplantar íntegramente el núcleo del grupo del ENIAC. «Al finalizar la guerra, él tenía todo un nuevo conjunto de ideas que no se habían incorporado al ENIAC —explicó Ware—. Puedo imaginarme a Johnny pensando para sus adentros: “Bueno, aquí estoy yo, y Herman, y Eckert, y Mauchly, y Burks. ¡Menudo equipo para hacer lo que me propongo!”.» ^[206]

Eckert rechazó la invitación de Von Neumann de dirigir el equipo de ingenieros del IAS y se asoció comercialmente con Mauchly por propia iniciativa, mientras que Von Neumann firmó una serie de lucrativos contratos personales de consultoría con IBM. «von Neumann acuerda asignar a IBM, con la excepción de las invenciones especificadas más abajo, los derechos íntegros de todas y cada una de las mejoras e invenciones realizadas por él», se lee en el borrador de un contrato de servicio con IBM fechado el 1 de mayo de 1945. Como se quejaría más tarde Eckert, «vendió a escondidas todas nuestras ideas a IBM». [\[207\]](#)

El habitual buen carácter de Von Neumann parecía desvanecerse. «Eckert y Mauchly son un grupo comercial con una política de patentes comercial —le explicó a Stanley Frankel, que seguiría manteniendo buenas relaciones con Eckert y Mauchly aun después de pasar durante semanas noches enteras solucionando problemas a finales de 1945 y principios de 1946—. No podemos trabajar con ellos, directa o indirectamente, de la misma manera abierta en que trabajaríamos con un grupo académico —advertía—. Si usted desea mantener el mismo tipo de estrecho contacto con el grupo Eckert-Mauchly —algo que le corresponde decidir a usted y solo a usted—, no debería situarse en una posición incompatible comunicándose también con nosotros.» [\[208\]](#)

En la Escuela Moore, el EDVAC se había quedado huérfano, deshancado por la empresa Eckert-Mauchly, por una parte, y el proyecto del Instituto de Estudios Avanzados, por otra. Para cuando se terminó el EDVAC, en 1951, su memoria de línea de retardo de mercurio y su arquitectura en serie se habían visto superadas por los avances desencadenados por el borrador de su propio informe. Para lograr una memoria «factible» e íntegramente de acceso aleatorio, se explicaba hacia el final del informe del EDVAC, el planteamiento «más natural» podía ser el iconoscopio de Farnsworth-Zworykin, en lugar de la línea de retardo de Eckert. «Este dispositivo, en su forma desarrollada, es capaz de recordar el estado de $400 \times 500 = 200.000$

puntos distintos —se señalaba—. Esas memorias se colocan mediante un rayo de luz y posteriormente se detectan por medio de un haz de electrones, pero es fácil ver que unos pequeños cambios harían posible llevar a cabo la colocación de las memorias también por medio de un haz de electrones.» El iconoscopio «actúa en este caso como 200.000 unidades de memoria independientes», con la conmutación entre condensadores individuales realizada «por un solo haz de electrones, donde la acción de conmutación propiamente dicha es la dirección (deflexión) de ese haz de manera que alcance el punto deseado en la placa.» [\[209\]](#)

Sesenta años después, la memoria de ordenador más primaria se encarna, en silicio, en forma de matrices de condensadores dinámicamente refrescadas: la aplicación actual de la traducción original de Farnsworth, Zworykin y Rajchman entre secuencias codificadas en el tiempo y matrices de carga en el espacio. Hoy, diez millones de condensadores cuestan menos de un céntimo. Las posiciones de memoria se asignan directamente mediante conmutación digital en lugar de indirectamente por medio de la deflexión de un haz de electrones, pero el principio y la arquitectura lógica subyacentes siguen siendo los mismos. Nuestro universo digital en constante expansión desciende directamente del tubo de imagen que implosionó en el asiento trasero del coche de Zworykin.

¿Dónde construir el nuevo ordenador? El Instituto ni siquiera tenía un banco de trabajo donde se pudiera enchufar una pistola soldadora. «Difícilmente cabría imaginar un entorno más improbable», añade Julian Bigelow. «¿Cómo encaja todo esto con la "Princetitud"? [\[IX\]](#) —se preguntaba Norbert Wiener en marzo de 1945—. Llegará un momento en que necesitarás tener un laboratorio al alcance de la mano, y los laboratorios no crecen en las torres de marfil.» [\[210\]](#) Wiener ayudó a conseguir una invitación, a través de un jefe de departamento, en el MIT, con la garantía de que todos los recursos de dicha institución se pondrían a disposición de Von Neumann para construir el computador que había ideado.

Hubo asimismo ofertas paralelas de Harvard, la Universidad de Chicago e IBM. «Todos estamos muy interesados en su hombre, Von Neumann — escribió el rector de Harvard, James Conant, a Frank Aydelotte—. La pregunta es: ¿podríamos conseguirlo?» Von Neumann empleó las invitaciones como una baza para negociar utilizándolas unas contra otras —y contra quienes se oponían a la construcción de un ordenador en el Instituto— hasta que se salió con la suya. «La cuestión de cómo retener a John von Neumann se vuelve más urgente de día en día... Sería una tragedia que lo perdiéramos —le advirtió James Alexander a Frank Aydelotte—. Tengo dudas de que estuviera dispuesto a quedarse con nosotros si eso significara renunciar completamente al trabajo sobre máquinas matemáticas de alta velocidad.» [\[211\]](#)

Una cosa era ceder prestado a Von Neumann a Los Alamos durante la emergencia bélica y otra muy diferente perderlo frente a una institución rival, algo que sería un duro golpe para el I AS. Von Neumann se apresuró a sacar ventaja de esa situación. «Aquellas negociaciones —en opinión de Bigelow— formaban parte de una forma de vida basada en el regateo que Von Neumann, por así decirlo, podía manejar con el dedo meñique de la mano izquierda, mientras los demás dedos de sus manos hacían un trabajo más eficaz e importante.» Aydelotte contrarrestó las ofertas rivales y además tranquilizó a Alexander diciéndole que «tiene usted entera libertad para decirle a Von Neumann que confío plenamente en encontrar los fondos de una fuente u otra para permitirle llevar a cabo sus proyectos». Pero había poco tiempo. No solo Von Neumann estaba impaciente por empezar con el ordenador, sino que Aydelotte estaba a punto de marcharse a Palestina como miembro de la Comisión Conjunta Angloamericana que en abril de 1946 concluiría, unánimemente, que «Palestina debe convertirse en última instancia en un Estado que proteja los derechos y los intereses de musulmanes, judíos y cristianos por igual». [\[212\]](#)

A principios de 1946, el Instituto de Estudios Avanzados era el más improbable de los sitios donde empezar a construir un ordenador. No había instalaciones de laboratorio ni ingenieros, y hasta las matemáticas aplicadas estaban vetadas. Se esperaba que los matemáticos que habían trabajado en diversas aplicaciones durante la guerra se olvidaran de ellas cuando volvieran. Pero Von Neumann estaba empeinado. «Cuando terminó la guerra y los científicos volvieron a sus respectivas universidades o instituciones de investigación, Johnny regresó al Instituto de Princeton — recordaba Klári—. Allí desorientó claramente, o hasta horrorizó, a algunos de sus colegas matemáticos entregados a la abstracción más erudita al profesar abiertamente su gran interés en otros instrumentos matemáticos aparte de la pizarra y la tiza o el lápiz y el papel. Su propuesta de construir un computador electrónico bajo la sagrada cúpula del Instituto no fue recibida precisamente con aplausos, por decirlo del modo más suave.» Pero no fueron solo los matemáticos puros quienes se sintieron perturbados por la perspectiva del ordenador. Los humanistas habían estado defendiendo su terreno frente a los matemáticos lo mejor que habían podido, y el proyecto de Von Neumann, que estaba previsto que triplicara el presupuesto de la Escuela de Matemáticas, provocaba recelo ya solo en ese aspecto. «¿Matemáticos en nuestra ala? ¡Por encima de mi cadáver! ¿Y del suyo?», cablegrafió a Aydelotte el paleógrafo Elias Lowe. [\[213\]](#)

Aydelotte, no obstante, estaba dispuesto a hacer cualquier cosa para retener a Von Neumann, y se mostró favorable a que el Instituto asumiera un papel activo en investigación experimental. Los científicos que habían estado secuestrados en Los Alamos durante la guerra, con un presupuesto de investigación ilimitado y sin obligación docente alguna, volvían ahora en gran número a ocupar sus antiguos puestos en la Costa Este. Un consorcio de trece instituciones solicitó al general Leslie Groves, el antiguo comandante del Proyecto Manhattan, la creación de un nuevo laboratorio de investigación nuclear que fuera el «Los Álamos» del Este estadounidense. Aydelotte

respaldó la propuesta, y hasta aconsejó construir el nuevo laboratorio en el Instituto Woods. «Nosotros tendríamos un emplazamiento ideal para él, y difícilmente podría pensar en un lugar en el Este que resultara más conveniente», cablegrafió Aydelotte a Von Neumann mientras viajaba a bordo del *Queen Elizabeth* rumbo a Palestina. En una reunión de la Escuela de Matemáticas convocada para discutir la propuesta, la que más se hizo oír entre las voces discrepantes fue la de Albert Einstein, quien, según registran las actas, «hace hincapié en los peligros del trabajo bélico secreto» y «teme que el énfasis en tales proyectos refuerce las ideas de guerras “preventivas”». [\[214\]](#) Aydelotte y Von Neumann esperaban que el proyecto del ordenador abriera al Instituto las puertas de lucrativos contratos de trabajo para el gobierno; justamente lo que temía Einstein.

Aydelotte presionó a Von Neumann para que le especificara un presupuesto, y este le respondió que «alrededor de 100.000 dólares anuales durante tres años para la construcción de un computador electrónico automático de uso general». Argumentó que «es de la mayor importancia que sea una organización puramente científica la que emprenda tal proyecto», dado que los laboratorios del gobierno solo construían dispositivos con «propósitos definidos, a menudo muy especializados», y que «cualquier empresa industrial, por otra parte, que emprendiera tal iniciativa estaría influenciada por sus propios procedimientos y rutinas del pasado, y, en consecuencia, no sería tan capaz de empezar partiendo de cero». [\[215\]](#)

Aydelotte buscó en primer lugar la financiación del filántropo Samuel Fels, haciendo hincapié en «las aportaciones a las matemáticas, la física, la biología, la economía y la estadística que podría realizar un ordenador electrónico», y prometiendo que el nuevo dispositivo abriría nuevas áreas de conocimiento «del mismo modo extraordinario en que el telescopio de 0,5 metros promete permitir la observación de universos que en el momento actual se hallan completamente fuera del alcance de cualquier instrumento

hoy existente». [\[216\]](#) A pesar de que se le ofreció una audiencia privada con Einstein, Fels rehusó prestar su apoyo.

Entonces Aydelotte se dirigió a Warren Weaver, de la Fundación Rockefeller, que estaba familiarizado con los otros laboratorios que trabajan en ordenadores y se hallaba en una posición única para evaluar la propuesta del IAS. «Estoy algo sorprendido de que Von Neumann esté interesado en la construcción y el funcionamiento reales de una gran computadora nueva —le escribió a Aydelotte el 1 de octubre de 1945—. El dispositivo con el que todos soñamos es muchísimo más que uno de cómputo... es un dispositivo con el que se puedan realizar, de manera rápida y precisa, ciertos procesos eléctricos y mecánicos que sean isomorfos de ciertos procesos matemáticos importantes.» Weaver no necesitaba que le convencieran de la importancia del proyecto de Von Neumann, pero le explicó a Aydelotte que «yo parto de la idea de que el Instituto no es un entorno físico natural para tal desarrollo. Sin embargo, me gustaría que ustedes me hicieran cambiar de opinión». [\[217\]](#) Von Neumann hizo todo lo posible. «Propongo almacenar todo lo que la máquina tenga que recordar en esos órganos de memoria —le explicaba a Weaver en una carta de once páginas a primeros de noviembre de 1945—. Esto incluye la... información numérica que define el problema, incluidos... resultados intermedios producidos por la máquina mientras trabaja... [y] las instrucciones lógicas codificadas que definen el problema y controlan el funcionamiento de la máquina.» Describía cómo «un código de operaciones muy sencillo es suficiente para gestionarlo todo» y «puede utilizarse para canalizar el control central a través de subrutinas, que pueden ser organizadas en jerarquías de cualquier estructura deseada». Esta mezcla de datos e instrucciones, señalaba, «permite la modificación de órdenes en función de los resultados numéricos de los cálculos que se realizan durante el proceso». Finalmente, explicaba cómo las instrucciones codificadas, almacenadas en la memoria interna, «dotan a la máquina de "órganos

virtuales”, es decir, hacen que se comporte como si poseyera ciertos órganos que en realidad no existen en el sentido físico». [\[218\]](#)

Weaver prestó su influencia personal y su apoyo, pero vaciló a la hora de comprometer a la Fundación Rockefeller en la financiación de una iniciativa en asociación directa tanto con los militares como con la RCA. Decidió esperar a ver cómo se las arreglaba «esta combinación más bien novedosa de instituto-universidad-laboratorio industrial-ejército-marina» antes de añadir la Fundación Rockefeller a la mezcla. Durante la misión de Aydelotte en Palestina, una carta de Weaver pidiéndole una actualización del proyecto de ordenador fue interceptada por Marston Morse, en quien Aydelotte había delegado sus responsabilidades mientras estaba fuera. «Quiero decirle confidencialmente que sería un gran servicio al Instituto que usted continuara con su insistencia en un presupuesto para el nuevo proyecto con detalles para el futuro —le respondió Morse—. Unas cuantas infravaloraciones, y el carácter del Instituto podría cambiar íntegramente en lo sucesivo. Cuanto mayor se vuelve, más ambiguo resulta.» [\[219\]](#) Lo que temía Morse no era que el proyecto de ordenador fuera un fracaso, sino que tuviera demasiado éxito.

Otras personas a las que Weaver les pidió que revisaran la propuesta de Von Neumann se mostraron menos amables, «von Neumann muestra cierta tendencia a considerar el problema como uno que se inicia en la estratosfera científica y luego va bajando, en lugar de uno que se inicia a ras de suelo y luego va subiendo —respondió Samuel Caldwell, del Laboratorio de Computación de Harvard—. El ordenador de relés contiene de “5.000 a 15.000 relés cada uno”. ¿Y qué? ¿Acaso Von Neumann piensa que la máquina electrónica no contendrá miles de algo?» [\[220\]](#)

Von Neumann encontró a un firme aliado en Lewis Strauss, el administrador del IAS, magnate comercial y contraalmirante que ejercía el poder en la Oficina de Investigación Naval. Strauss supo ver el mérito del planteamiento de Von Neumann de no comprometerse hasta el punto de quedar atados de

pies y manos. Después de lo que se había logrado en Los Alamos con calculadoras de escritorio, ¿qué podría ser lo siguiente? «Si dedicamos de ese modo varios años a la experimentación con semejante máquina, sin necesidad de aplicaciones inmediatas, al final de ese período saldremos ganando mucho más en todos los sentidos, incluidas las aplicaciones — argumentaba Von Neumann—. La importancia de acelerar las matemáticas de aproximación y computación en factores como 10.000 o más reside no solo en que de ese modo se podrían resolver en 10.000 veces menos tiempo problemas que hoy se plantean, o pongamos que 100 veces más de ellos en 100 veces menos tiempo, sino más bien en que se podrán acometer problemas que actualmente se consideran completamente inabordables.»

[\[221\]](#)

Strauss mordió el anzuelo. «El dispositivo proyectado, o, más bien, la clase de dispositivos de la que ha de ser el primer representante, es tan radicalmente nuevo que muchos de sus usos resultarán evidentes solo después de que haya sido puesto en funcionamiento —le aseguraba Von Neumann—. Esos usos que hoy no son predecibles, o que no lo son fácilmente, probablemente van a ser los más importantes. De hecho, son por definición aquellos que no reconocemos en la actualidad porque son los más alejados de... nuestra esfera actual.» [\[222\]](#)

Strauss, que se disponía a dejar la marina, prometió no solo asegurarse de que el proyecto de ordenador fuera financiado antes de su marcha, sino también, como informaría Marston Morse el día de Nochebuena de 1945, «obtener gratuitamente un cobertizo prefabricado». Tal como había prometido, se le proporcionó la financiación, aunque no el cobertizo prefabricado. El papeleo fue mínimo, y bastó un presupuesto de una sola página para garantizar los fondos necesarios. Cuando la marina empezó a hacer preguntas sobre el propietario del ordenador y de los derechos de patente a él asociados, el contrato se le ofreció al ejército. «El profesor Von Neumann y yo —escribió Goldstine en 1951— creemos que el Instituto tiene

un contrato casi en exclusiva con el Departamento de Armamento por el que el gobierno, de hecho, nos ha dado una subvención para construir una máquina por nuestra cuenta.» [\[223\]](#)

«Una vez al año celebrábamos una especie de sesión recaudatoria en la que nos sentábamos en la sala de juntas del Instituto con los representantes de todos aquellos organismos del gobierno —recordaba James Pomerene— y decían: “Bueno, yo puedo poner 10.000 dólares”, y otro tío decía: “Yo puedo poner 20.000 dólares”. Y uno preguntaba: “¿Y usted, Joe? Usted puede llegar a los 30.000, ¿verdad?”. Nosotros conseguíamos reunir nuestros 200.000 dólares, y todo funcionaba de perlas.» [\[224\]](#)

La mitad del primer contingente de ingenieros, así como el nombre de MANIAC, fueron importados de la Escuela Moore. «Al principio llamábamos “MANIAC” [“maníaco” en inglés] al ENIAC cuando no funcionaba bien —recordaba J. Presper Eckert—. Y más tarde ellos tomaron prestado el nombre.» [\[225\]](#) El proyecto del IAS combinaba la experiencia práctica derivada del ENIAC con las posibilidades teóricas de la máquina universal de Turing. Había contactos regulares entre el grupo del IAS y sus colegas británicos, aunque estos últimos se veían constreñidos por la Ley de Secretos Oficiales, que les impedía confirmar la existencia de los ordenadores descifradores de códigos que se habían construido durante la guerra.

«Von Neumann era muy consciente de la importancia fundamental del artículo de 1936 de Turing “Sobre números computables...”, que describe en principio el “Ordenador Universal” del que todo ordenador moderno (quizá no el ENIAC tal como se construyó inicialmente, pero desde luego todos los posteriores) es una materialización —explicó Stanley Frankel—. Von Neumann me enseñó aquel trabajo, y a instancias suyas lo estudié en detalle... me hizo especial hincapié, y estoy seguro de que también a otros, en el hecho de que la concepción fundamental se debía a Turing.» [\[226\]](#) Von Neumann sabía que el verdadero reto sería no construir el ordenador, sino formularle las preguntas correctas en un lenguaje inteligible para la

máquina. Por este motivo, si no por sus talleres de maquinaria y laboratorios, el Instituto de Estudios Avanzados, el «hotel intelectual» de Oppenheimer, resultaba ideal.

«Por entonces Johnny tenía una idea muy clara de cómo y por qué quería que esta máquina funcionara, con especial énfasis en el porqué —recordaba Klári—. Él quería construir un computador electrónico rápido, completamente automático y de uso general que fuera capaz de responder a tantas preguntas como la gente pudiera pensar en formularle.» [\[227\]](#)

* * * *

Capítulo 6

Fuld 219

Hemos estado intentando ver hasta qué punto es posible eliminar la intuición y dejar solo el ingenio. No nos importa cuánto ingenio se requiere, y, por lo tanto, asumimos que está disponible en cantidad ilimitada.

ALAN TURING, 1939

«La perspectiva de la visita de un arquitecto por regla general le cuesta al profesor Veblen un día de trabajo y una noche de sueño», señaló Abraham Flexner cuando se anunció por primera vez la construcción de una sede central para el Instituto de Estudios Avanzados. Desde un primer momento, Veblen y Flexner habían estado en desacuerdo en la cuestión de construir edificios y comprar tierras. «La manera de reformar la enseñanza superior en Estados Unidos consiste en pagar salarios generosos y luego utilizar cualquier clase de improvisación en el tema de los edificios», había argumentado Flexner cuando el Instituto abrió sus puertas, con Veblen, Einstein, Alexander, Von Neumann y poco más. [\[228\]](#)

El Instituto operó en una serie de instalaciones temporales durante sus nueve primeros años. «Todo el mundo trabajaba en otra parte —observó Klári von Neumann a su llegada a Princeton en 1938—. Flexner tenía su despacho en uno de los edificios que había en Nassau Street; los matemáticos tenían salas en Fine Hall, que era el edificio de matemáticas de la universidad; los economistas tenían una especie de despacho en el sótano del Princeton Inn, y los pocos arqueólogos que eran miembros trabajaban

básicamente en sus casas cuando estaban en Princeton, y luego se iban a excavar “en exteriores”.» [\[229\]](#)

Cuando Flexner aceptó la construcción de Fuld Hall, consignó una última queja a Veblen, diciéndole que «yo más bien alquilaría espacio adicional en el número 20 de Nassau Street y haría que nuestras mentes estuvieran tan llenas de los propósitos para los que existimos que todos nos volviéramos relativamente indiferentes a los edificios y terrenos». Luego advirtió a Aydelotte de que «sigo teniendo todavía algunas dudas con respecto a Veblen, ya que pienso que está obsesionado con los espacios excesivamente grandes». [\[230\]](#)

Fuld Hall, que debía su nombre al apellido de casada de la hermana de Louis Bamberger, Carrie, y su marido, Félix Fuld, se construyó en 1939. El arquitecto fue Jens Frederick Larson, que se había forjado un nombre diseñando ampliaciones de campus universitarios —entre ellos los de Swarthmore y Dartmouth— y se sintió atraído por el reto de diseñar una nueva institución de principio a fin. Nacido en Boston en 1891, Larson se había alistado en el Primer Contingente Extranjero canadiense en 1915, se había dirigido a Francia como miembro de la infantería y había ascendido hasta llegar al rango de teniente de artillería, hasta que, impresionado por las batallas aéreas que se libraban sobre su cabeza, optó por recibir entrenamiento como piloto. En 1917 se convirtió en miembro fundador del 84.º Escuadrón del Real Cuerpo Aéreo británico a los mandos de un Royal Aircraft Factory SE-5A, un diseño experimental que no solo superaba al más conocido Sopwith Camel, sino que asimismo resultaba más fácil de pilotar.

Según los archivos británicos, Larson, conocido como el Sueco, se anotó al menos ocho victorias aéreas entre noviembre de 1917 y abril de 1918; según los archivos canadienses, la cifra ascendía a nueve. El 3 de abril de 1918 derribó a dos adversarios en un solo día, tras haberse encontrado con «dos formaciones de Pfalz y V-Strutter entre las nubes a dos mil metros de altitud». [\[231\]](#) Guio a sus cuatro compañeros por encima de las nubes y luego

se lanzó en picado sobre los alemanes, que fueron incapaces de escapar. Tras anotarse una victoria más, el 6 de abril, se retiró del combate y se convirtió en instructor de vuelo en Inglaterra, antes de regresar finalmente a Estados Unidos.

El primer plano de planta de Fuld Hall, con una sala común central y despachos en las alas (acompañado de notas en las que se sugería que se asignara un ala a las mujeres), se esbozó a lápiz al dorso de un menú del City Mid-Day Club, situado en el número 25 de Broad Street, en Nueva York, el jueves 21 de octubre de 1937. Entre las opciones alimentarias ofrecidas al Comité de Edificios y Terrenos, había ostras Blue Point en su media concha por cuarenta centavos o patatas Cape Cod por cuarenta y cinco. El resultado, dos años después, sería un imponente edificio de ladrillo rojo y estilo georgiano con el alero blanco y tejado de cobre, cuya simetría lateral culminaba en una torre de reloj que dominaba el paisaje —por lo demás anodino— de Olden Farm. Según Robert Oppenheimer, en cierta ocasión alguien oyó por casualidad esta conversación entre dos muchachos que estaban hablando en el camino privado, hoy llamado Einstein Drive, que pasa por Fuld Hall:

—¿Qué es esto? ¿Una iglesia?

—Es el Instituto.

—¿Y qué es el Instituto?

—Un sitio para comer.

Además del comedor situado en el último piso, Fuld Hall albergaba los despachos de la administración y el profesorado del Instituto, y también, en el centro de la planta baja, una sala común con una gran chimenea rodeada de butacas tapizadas en piel y presidida por un reloj de caja procedente de la propiedad de los Bamberger en South Orange. Había un tablero de ajedrez (y más tarde un tablero de go, el juego favorito de los jóvenes físicos de partículas de Oppenheimer) junto a las ventanas, que daban al Instituto Woods. Los periódicos del día, incluida la edición internacional del *Times* de

Londres, eran colocados todas las mañanas en un estante de madera fina. El té de la tarde —un ritual introducido en Fine Hall por Oswald Veblen, quien, según Herman Goldstine, «se esforzaba muchísimo en ser inglés»— se servía todos los días exactamente a las tres en punto en auténtica porcelana china. Según Oppenheimer, la hora del «té es cuando nos explicamos unos a otros lo que no entendemos».

Rodeado de bosques, campos y caminos privados, Fuld Hall parecía un sanatorio privado o una gran propiedad campestre europea. De la conservación de las instalaciones se encargaba un personal especialmente entregado de criadas, encargados del mantenimiento y conserjes, entre los que se incluía la extensa familia Rockafellow, que ocupaba una de las casas de los antiguos agricultores, situada al final de Olden Lañe. Gran parte del personal permanecería en el Instituto durante toda su vida. El 16 de febrero de 1946, a la señora Alice Rockafellow, calificada como una persona «de fiar y formal en cualquier emergencia de las muchas que se producen en la cafetería», se le concedió un aumento de setenta a ochenta dólares al mes. «Su sueldo es menor que el de otras criadas, ya que los Rockafellows tienen un alquiler muy bajo», informan las actas del cuerpo docente. [\[2321\]](#) En uno de los rincones más alejados de los bosques, más allá de un grupo de hayas autóctonas, se había permitido quedarse a una familia de campesinos que practicaban una agricultura de subsistencia y que estaban allí desde que el Instituto adquiriera aquellas tierras. Durante la guerra, en los campos del Instituto se había plantado alfalfa, alternándola con cereales y otros cultivos. Los bosques del Instituto fueron declarados reserva natural en 1945, aunque se mantendría una breve temporada de caza del ciervo con arco, y todavía hoy pueden verse plataformas de caza en los árboles si uno alza la vista.

El almuerzo y la cena se servían en el comedor del cuarto piso a un precio inferior al de mercado. El menú del 14 de octubre de 1946 incluía «Fletan en salsa con huevos sobre lecho de patatas» por veinticinco centavos, o «Salmón fresco hervido con salsa de perejil y patatas» por cincuenta. El café

costaba cinco centavos. Una nota en la cocina recordaba al personal la «dieta de Einstein: nada de grasas; nada de verduras de la familia de la col o la alubia; nada de helado». Einstein prefería que sus huevos hirvieran durante cuatro minutos, y una manzana al horno de postre.

La cafetería la regentaba Alice Rockafellow. Los menús (incluida la dieta de Einstein) los elaboraba, con una máquina de escribir manual, una aviadora que había sido colega de Larson en la época de la Primera Guerra Mundial, Bernetta Miller, nacida en Cantón, Ohio, en 1884, y la quinta mujer que obtuvo una licencia de piloto en Estados Unidos. En 1912 había hecho una demostración del nuevo monoplano francés Blériot —que construía bajo licencia Moisant Aviation en Long Island— para el ejército estadounidense. «Obviamente, yo no me hacía ilusiones respecto a por qué me enviaban a College Park para hacer la demostración del monoplano a unos funcionarios del gobierno estadounidenses que estaban consagrados exclusivamente a la idea del biplano —explicaría más tarde Miller—: si una simple mujer podía aprender a pilotar uno, sin duda podría hacerlo un hombre.» Durante la Primera Guerra Mundial sirvió como voluntaria en tierra, recibiendo la Cruz de Guerra del gobierno francés por «ayudar a los heridos en los puestos de ayuda avanzados» de los sectores de Tours, Toul y Argonne. Una carta de encomio del comandante de la 82.^a División del ejército estadounidense, fechada el 13 de enero de 1919, menciona que, «bajo el fuego enemigo, visitó el frente de combate, llevando una provisión de cigarrillos y otras pequeñas comodidades a los hombres». [\[233\]](#) Resultó herida al menos una vez.

Después de la guerra, Miller fue tesorera de la Escuela Femenina Americana de Estambul, tras lo cual regresó a Estados Unidos, donde trabajó también como tesorera en St. Mary's Hall, una escuela femenina de Burlington, Nueva Jersey, hasta que en 1941 fue contratada como ayudante personal y contable de Frank Aydelotte. Sus memorandos estaban redactados con firmeza, utilizando letras mayúsculas para dar énfasis, y firmados con mano

firme y audaz. «No se consumirá nada de PAN los JUEVES. No se freirán ALIMENTOS los miércoles, y no se servirán PASTELES O TARTAS los LUNES O VIERNES», anunciaba en mayo de 1946, cuando entró en vigor el racionamiento de alimentos debido a la escasez de la posguerra. [\[234\]](#)

«No puedo insistir lo bastante en la urgente necesidad de que la gente del Computador asuma ÍNTEGRAMENTE SU Contabilidad —subrayaba en un memorando al director el 13 de septiembre de 1946—. Está inundando mi despacho hasta el punto de que no podemos prestar la atención adecuada a los asuntos del Instituto.» Miller llevaba un registro meticuloso del servicio de té de Fuld Hall, e informó de que durante los seis meses del curso académico 1941-1942 se consumieron 9.605 servicios, con un coste de 5,2 centavos en té, azúcar, galletas y trabajo cada uno. Ella personalmente encabezó la delegación de madres que solicitaron a Oppenheimer y Aydelotte que instalara un parvulario en el Instituto. «En este momento hay 34 niños en el proyecto, de los cuales 15 están en edad de párvulos... el asunto es urgente si los padres han de tener una razonable tranquilidad en casa —informaba en septiembre de 1947, pidiendo permiso para convertir en parvulario uno de los apartamentos para visitantes—. La confusión en un pequeño apartamento con niños alrededor es considerable, como usted sabe.» [\[235\]](#) El parvulario Crossroads se inauguró en 1947, y desde entonces ha estado al máximo de su capacidad. Los matemáticos producen sus mejores trabajos más o menos en la misma época en que engendran a sus hijos, y el parvulario ayudaba a mantener las dos cosas separadas.

Miller, que no tenía hijos, «estaba obviamente interesada en las mujeres, no en los hombres», añadió el genetista Joseph Felsenstein, que de niño había acompañado a su abuela materna, prima hermana de Miller, en varias visitas familiares a Bernetta y su compañera, Betty Faville, por aquel entonces ya retiradas en New Hope, Pensilvania. En el Instituto, explicó, «ella se convirtió en una de las personas que tenían que interponerse entre Albert Einstein y el mundo». Tenía en muy alta estima a Aydelotte, pero sentía aversión por

Oppenheimer, que la despidió en 1948. «Creo que aquel hombre era una auténtica serpiente —afirmaría más tarde—. Pero nunca habría dicho que fuera desleal.» ^[236] Cuando se marchó, Einstein le dio una carta de recomendación personal.

Cuando uno llegaba a la entrada principal de Fuld Hall en 1946 —en aquel entonces los abarrotados despachos tenían una numeración distinta de la actual—, la centralita telefónica quedaba a mano izquierda. Desde la planta baja, en el centro, medio tramo de escaleras descendían a la sala común, con altas puertas cristaleras que daban a un campo abierto que se extendía hasta la vieja línea de tranvía Princeton-Trenton que marcaba la linde de los bosques del Instituto. La columna principal del ejército de George Washington, al mando del general John Sullivan, había atravesado los límites de este campo la mañana del 3 de enero de 1777, cuando el grupo del general Mercer entabló combate con los ingleses, justo al otro lado de donde hoy se alzan la biblioteca de ciencias sociales y el nuevo comedor del Instituto.

En el segundo y tercer pisos de Fuld Hall, en el centro, se hallaba la biblioteca, un espacio de techo elevado con salas de lectura y de conversación adyacentes. En el cuarto y último piso estaban el comedor, la cocina y la sala de juntas, con un balcón y una terraza que dominaban la parte baja de Olden Farm, en dirección a Stony Brook (desde ese mismo balcón, unos enamorados Meg Ryan y Tim Robbins, cuyos caminos se habían cruzado gracias a un Einstein interpretado por Walter Matthau, contemplaban las estrellas en el filme de 1994 *El genio del amor*). Los despachos se extendían a lo largo de las dos alas a ambos lados de la sala común y la biblioteca, con los humanistas (y el director) ocupando la parte derecha del edificio y los matemáticos (y Einstein) ocupando la izquierda.

En el momento en que se puso en marcha el proyecto del ordenador, en 1946, Veblen ocupaba el despacho 124 de la planta baja, con ventanas saledizas encaradas hacia un extremo de Olden Lañe. Einstein estaba

directamente encima, en el despacho 225. Von Neumann ocupaba el 120 de la planta baja, adyacente a la sala común y flanqueado a la izquierda por las secretarías Betty Delsasso, en el 121, y Gwen Blake, en el 122. En el segundo piso, el ala derecha estaba ocupada por los economistas Walter W. Stewart, en el 212; Winfield Riefler, en el 210, y Robert B. Warren, en el 213, además de Judy Sachs, la bibliotecaria, en el 215. Stewart, Riefler y Warren, respectivamente del Banco de Inglaterra, la Reserva Federal y el Tesoro estadounidenses, constituían conjuntamente la Escuela de Economía y Política, cuya creación, realizada sin la aprobación del resto del cuerpo docente, condujo a la dimisión de Flexner en 1939. En el ala izquierda, adyacente a Weyl y Einstein, justo encima de Von Neumann y al lado de la biblioteca, estaba Kurt Gödel, en el despacho 217.

«La lógica formal ha de ser asumida por los matemáticos —había anunciado Veblen el día de Nochevieja de 1924, cuando los planes de lo que se convertiría en el Instituto de Estudios Avanzados empezaban a tomar forma en su mente—. No existe una lógica adecuada al momento actual, y a no ser que los matemáticos creen una, no es probable que nadie más lo haga.» [\[237\]](#)

Fue Godel, por encima de ningún otro —y ahora físicamente por encima de Von Neumann—, quien demostró que la intuición de Veblen era correcta.

En 1924, tanto Von Neumann como Godel trabajaban en los fundamentos lógicos de las matemáticas, antes de que los teoremas de incompletitud de Godel pusieran fin al programa de Hilbert. Von Neumann, según Ulam, «creía en el objetivo de Hilbert de una axiomatización definitiva y concluyente de las matemáticas, y sin embargo, en un artículo de 1925, en un misterioso destello de intuición, señalaba los límites de cualquier formulación axiomática de la teoría de conjuntos. Quizá eso fuera una especie de vago pronóstico del resultado de Godel». [\[238\]](#) Se había sembrado la semilla de la duda.

En septiembre de 1930, en la conferencia de Königsberg sobre la epistemología de las ciencias exactas, Godel efectuó el primer anuncio provisional de sus resultados sobre la incompletitud. Von Neumann supo ver

de inmediato las implicaciones, y, tal como le escribió a Godel el 30 de noviembre de 1930, «utilizando los métodos que usted ha empleado tan satisfactoriamente... he logrado un resultado que me parece notable, a saber, he podido mostrar que la coherencia de las matemáticas es indemostrable», aunque solo para encontrarse, a vuelta de correo, con que Godel se le había adelantado. [\[239\]](#) «Se sintió decepcionado por no haber sido el primero en descubrir los teoremas de indecidibilidad de Godel —explicó Ulam—. Habría sido más que capaz de ello en caso de haber admitido la posibilidad de que Hilbert se equivocara en su programa. Pero eso habría significado ir contra el pensamiento predominante en aquel momento.» [\[240\]](#)

Von Neumann, que seguiría siendo un vehemente partidario de Godel, cuyos resultados reconocía que se aplicaban «a todos los sistemas que permiten una formalización», nunca más volvió a trabajar en los fundamentos de las matemáticas. «El logro de Godel en la lógica moderna es singular y monumental... un hito que seguirá siendo visible a gran distancia en el espacio y el tiempo —destacó—. El resultado es notable en su casi paradójica “autonegación”: nunca será posible adquirir por medios matemáticos la certeza de que las matemáticas no contienen contradicciones... El tema de la lógica nunca volverá a ser el mismo.» [\[241\]](#)

Godel sentó las bases de la revolución digital, no solo al redefinir los poderes de los sistemas formales —y ordenar las cosas para su encarnación física por parte de Alan Turing—, sino también al reencauzar los intereses de Von Neumann de la lógica pura a la aplicada. Fue precisamente al intentar ampliar los resultados de Godel a una solución más general del *Entscheidungsproblem* de Hilbert —el «problema de decisión» de si algún procedimiento mecánicamente preciso puede distinguir los enunciados demostrables de los refutables en un sistema dado— cuando Turing inventó su máquina universal. Todos los poderes —y límites a dichos poderes— que los teoremas de Godel asignaban a los sistemas formales también se aplicaban a la máquina universal de Turing, incluida la versión que Von

Neumann, desde su despacho situado justo debajo del de Godel, intentaba construir ahora.

Godel asignaba a todas las expresiones del lenguaje de un sistema formal dado identidades numéricas —o direcciones numéricas— únicas, forzándolas a una correspondencia con una burocracia numérica de la que era imposible escapar. La numeración de Godel se basa en un alfabeto de números primos, con un mecanismo de codificación explícito que gobierna la traducción entre expresiones complejas y sus «números de Godel», similar a las traducciones de nucleótidos en aminoácidos en las que se basa la síntesis de proteínas, pero sin la ambigüedad que las caracteriza. En 1931, esta representación de todos los conceptos posibles mediante códigos numéricos parecía ser un constructo puramente teórico.

«Las nociones (proposiciones) metamatemáticas se convierten así en nociones (proposiciones) sobre números naturales o secuencias de ellos; por lo tanto, pueden (al menos en parte) expresarse por medio de los símbolos del sistema... en sí mismos», escribía Godel en la introducción a su prueba.

[242] Godel elaboró una fórmula, el enunciado de Godel (G), que decía, en la práctica, que «el enunciado con el número de Godel g no puede demostrarse», donde los detalles del sistema son manipulados para que el número de Godel de G sea g . G no puede demostrarse dentro del sistema especificado, y, por lo tanto, es verdadero. Dado que, si se presupone coherencia, su negación no puede demostrarse, el enunciado de Godel es, pues, formalmente indecidible, lo que hace que el sistema sea incompleto. De ese modo Gódel ponía fin al sueño de Hilbert de una formalización universal y generalizada.

Gódel llegó al Instituto a finales de 1933, pero, dado que sufría depresión, regresó a Viena en mayo de 1934. Tras retirarse al sanatorio de Purkersdorf, donde se le diagnosticó agotamiento nervioso, volvió a Princeton en septiembre de 1935, donde cayó en una depresión aún más grave, así que dimitió de su puesto y regresó a Austria a finales de noviembre. Ingresó

voluntariamente en el sanatorio de Rekawinkel, y luego se recuperó lo suficiente como para pasar varias semanas con su futura esposa, Adele Nimbursky (de soltera Porkert), una bailarina de *cabaret* vienesa, en el balneario de Aflenz.

Veblen, Marston Morse y Von Neumann (que visitaron a Gódel en Viena) estaban decididos a llevarlo de vuelta al Instituto, aunque Aydelotte, que más tarde le confesaría al psiquiatra de Gódel que «siempre he estado un poco preocupado por el hecho de que no se tome más tiempo libre», mantuvo sus reservas, y en 1950, cuando finalmente se le ofreció a Gódel un puesto en el cuerpo docente, adoptó «el punto de vista de que Gódel no es el tipo de persona al que se puede nombrar profesor titular». ^[243] Pese a ello, Aydelotte respaldó el regreso de Gódel a Estados Unidos.

Tras su boda en septiembre con Adele, a finales de 1938 Gódel volvió a Princeton, pero después de un semestre en la Universidad de Notre Dame regresó de nuevo a Austria en junio de 1939, justo cuando estaba a punto de estallar la guerra. Gódel se encontraba ahora atrapado por la misma contradicción casi paradójica que había caracterizado a sus recientes resultados matemáticos. Había nacido en Brünn, Checoslovaquia, y se había naturalizado ciudadano austríaco en 1928. Cuando Austria fue anexionada por el gobierno de Hitler en 1938, perdió su puesto docente en Viena, y, aunque no era judío, fue acusado de «haber viajado a círculos judeo-liberales»; su solicitud para ser nombrado *Dozent neuer Ordnung* («profesor del Nuevo Orden») fue rechazada. Con una Austria oficialmente inexistente, se vio obligado a solicitar un pasaporte alemán hasta para realizar una visita temporal a Estados Unidos. Pero el hecho de tener dicho pasaporte le hacía susceptible de realizar el servicio militar alemán, y sin cumplir con su obligación militar, cualquier petición de un visado de salida sería denegada. Las autoridades alemanas no harían una excepción sin un visado de los estadounidenses, y los estadounidenses no concederían un visado sin una excepción de los alemanes. «Usted apreciará, sin duda, que si la dificultad

del profesor Gödel deriva de alguna cuestión relativa al ejército o a otros asuntos dentro de la jurisdicción de un gobierno extranjero, nuestro funcionario consular en Viena sería incapaz de intervenir en su nombre dado que el profesor Gödel no es ciudadano estadounidense», le escribía el jefe de la División de Visados estadounidense a Abraham Flexner en octubre de 1939. [\[244\]](#)

«Gödel es absolutamente irremplazable; es el único matemático vivo del que me atrevería a hacer tal afirmación —apelaba Von Neumann en una carta que circuló en los más altos niveles diplomáticos accesibles gracias a los contactos que entonces tenía la Fundación Rockefeller de Flexner—. Salvarle de la ruina de Europa es una de las grandes contribuciones que alguien podría hacer.» La División de Visados respondió que, para ser admitido en Estados Unidos con un visado especial, el solicitante debía tener un puesto docente en el país de residencia y, además, una oferta de un puesto docente en Estados Unidos. Flexner, Aydelotte y Von Neumann confirmaron que Gödel ejercería la «docencia» (aunque el Instituto no tenía ni estudiantes ni clases), pero eso no bastó. «La objeción formulada contra Gödel —le explicaba Von Neumann a Flexner— consiste en que los dos años de docencia en el país de origen deben ser inmediatamente anteriores a su solicitud, mientras que Gödel fue suspendido de su puesto por los nazis después del *Anschluss* en 1938. Creo que este requisito es absolutamente ilógico.» [\[245\]](#)

Pero la diplomacia triunfó allí donde falló la lógica. Las autoridades alemanas en Viena les dieron a los Gödel permiso para marcharse, y las autoridades estadounidenses en Washington les concedieron el permiso para entrar en Estados Unidos. El 2 de enero de 1940 Gödel cablegrafió a Von Neumann con la noticia. «La única complicación que queda —le informaba Gödel a Aydelotte— es que tendré que hacer la ruta por Rusia y Japón.» [\[246\]](#) Con los visados emitidos por los estadounidenses el 8 de enero, el 15 del mismo mes los Gödel viajaron de Berlín a Moscú, cogieron el Ferrocarril Transiberiano

hasta Vladivostok y luego se trasladaron en barco a Yokohama, adonde llegaron el 2 de febrero, perdiendo por muy poco el barco que había de llevarles a San Francisco, el *Taft*, que había zarpado el día 1. Aydelotte acudió al rescate, transfiriendo 200 dólares a los Gódel, alojados en el hotel New Grand de Yokohama, y reservando un pasaje para ellos en el *Cleveland*, que se dirigía vía Honolulu (donde Gódel pidió otros 300 dólares) a San Francisco, adonde arribaron el 4 de marzo. Finalmente llegaron a Princeton, en tren, el 9 de marzo.

Habían escapado justo a tiempo. En junio, París fue ocupada e Italia declaró la guerra a Gran Bretaña y Francia. «Mis peores premoniciones se han hecho realidad —escribía Stan Ulam a Von Neumann el 18 de junio—. Mi fe en Norteamérica ha desaparecido casi por completo.» ^[247] Estados Unidos no declaró la guerra hasta el 8 de diciembre de 1941, pero en el Instituto había muchos que ya habían sido desplazados a causa del conflicto o que se dedicaban a prepararlo. Von Neumann estaba inmerso en la investigación armamentística; las conversaciones sobre el «problema del uranio» flotaban en el aire, y tanto Veblen como Morse se disponían a volver a ocupar puestos en el Campo de Pruebas del ejército.

Mientras Von Neumann buscaba objetivos que había que bombardear, la Comisión Estadounidense para la Protección y el Salvamento de Monumentos Artísticos e Históricos en Zonas de Guerra reclutó a los humanistas del Instituto a fin de que ayudaran a identificar objetivos que *no* había que bombardear. Erwin Panofsky, el célebre historiador del arte, fue el responsable de identificar recursos culturalmente importantes en Alemania, mientras que los clasicistas y arqueólogos del Instituto ayudaron a proporcionar información similar sobre el Mediterráneo y Oriente Próximo. Incluso Einstein fue interrogado al respecto.

Al prolongarse la guerra, el Instituto optó por cerrar las puertas y las ventanas, «intentando calentar la sala común con la chimenea» para ahorrar combustible y, por lo demás, tratando de mantener la moral alta. Los

materiales y provisiones empezaban a escasear y se pospusieron las compras, mientras la comunidad del Instituto seguía ampliándose. «Por favor, oriéntennos acerca de si hay alguna ley contra el uso de un remolque para pasajeros», escribió Bernetta Miller al Departamento de Vehículos de Motor cuando la furgoneta que iba y venía entre el Instituto y la estación de tren se volvió insuficiente para el número de pasajeros que había que transportar. [\[248\]](#)

Al tener pasaportes alemanes, los Gódel se vieron obligados a registrarse como «extranjeros enemigos», y no podían abandonar Princeton sin el permiso por escrito de la delegación del Departamento de Justicia en Trenton, ni siquiera para las visitas rutinarias a sus médicos en Nueva York. «Sigo estando un tanto preocupado por la idea de que nuestros denominados “extranjeros enemigos” se alejan demasiado», escribía en diciembre de 1941 Aydelotte, que tenía que mediar con las autoridades locales para la liberación de individuos declarados bajo sospecha cuando dejaban el IAS. [\[249\]](#)

«Nunca he prestado juramento de lealtad a Alemania. Mi esposa... nunca ha prestado juramento de lealtad a Alemania —escribió Gódel al Departamento de Justicia en Washington, solicitando que se enmendara su estatus conforme a la Ley de Registro de Extranjeros—. Dado que llegamos a este país con pasaportes alemanes y teníamos la impresión de que la ciudadanía austríaca ya no se reconocía en este país, y tampoco se nos aconsejó lo contrario cuando preguntamos a los funcionarios sobre este punto, consideramos que no teníamos otra opción que registrarnos como alemanes.» [\[250\]](#)

«Por ahora el procedimiento para tal enmienda o corrección no ha sido establecido, pero con toda probabilidad lo será pronto —le respondió Earl G. Harrison, ayudante especial del fiscal general—. Mientras tanto, su carta será apropiadamente archivada en su expediente en la División de Registro de Extranjeros.» Aydelotte intervino en su ayuda: «Cuando el doctor y la señora Gódel presentaron su declaración de intenciones se les inscribió como de

nacionalidad alemana, él como nacido en Brünn, Alemania, y ella como nacida en Viena, Alemania —escribió al Tribunal de Distrito—. Pero, obviamente, esas ciudades no eran alemanas cuando nacieron el doctor y la señora Gödel, y me parece que esos enunciados de la declaración de intenciones deberían ser corregidos. No hallo el modo de saber qué hay que hacer para conseguir que se realice esa corrección». [\[251\]](#)

«Dado que el señor Godel es ciudadano austríaco naturalizado y la señora Godel, ciudadana austríaca por nacimiento, su nacionalidad, por lo que a la declaración de intenciones se refiere, tendrá que seguir siendo alemana debido al hecho de que este país [Estados Unidos] ha reconocido la conquista de Austria por parte de Alemania, convirtiéndola así en parte del Reich alemán —fue la respuesta del tribunal—. Esto se ve confirmado por la emisión de un pasaporte alemán. Sin embargo, cuando el señor y la señora Godel presenten sus peticiones de ciudadanía, ese estatus variará en conformidad con la norma modificada en relación con los austríacos.» [\[252\]](#)

Pese a tales obstáculos, Godel produjo el tercero de sus principales trabajos, una monografía sobre la coherencia de la hipótesis del continuo publicada en 1941. «¡Godel ha obtenido este resultado mediante una construcción muy ingeniosa que utiliza los trucos de sus pruebas en lógica formal! ¿Había oído hablar de ello?», le escribió Von Neumann a Stan Ulam en mayo de 1941. «Por favor envíe notas hipótesis continuo Godel», cablegrafiaba a su vez Alan Turing desde el King's College de Cambridge el 16 de diciembre. [\[253\]](#) La hipótesis del continuo, propuesta por George Cantor en 1877 y presentada en 1900 como el primero de los veintitrés problemas no resueltos de Hilbert, sostiene que el conjunto de los números reales (el continuo) es el menor de los infinitos cuyo tamaño es mayor que el del conjunto de los números enteros, y que no hay ningún infinito de tamaño intermedio entre ambos. Godel demostró que, dentro de un sistema estrictamente definido, era imposible refutar la hipótesis, un resultado que se ha visto reforzado en los últimos años.

Al no poder regresar a Austria, Godel se sentía cada vez más inquieto. «La evidencia que hemos tenido aquí de las dificultades del doctor Godel reside en que cree que los radiadores y la nevera de su apartamento emiten una especie de gas venenoso —le escribía Frank Aydelotte a Max Gruenthal, el psiquiatra de Godel, en diciembre de 1941—. Debido a ello los ha hecho quitar, lo que hace del apartamento un lugar bastante incómodo en la época invernal. El doctor Godel no parece albergar tal recelo con respecto a la instalación de calefacción del Instituto, y aquí realiza su trabajo de forma muy satisfactoria.» [\[254\]](#)

Aydelotte, que necesitaba un pronóstico, finalmente iba al grano: «Asimismo, me gustaría saber especialmente —preguntaba— si usted considera que existe algún peligro de que su enfermedad adopte una forma violenta». El doctor Gruenthal le respondió de manera cortés pero lacónica, negándose a hablar de la enfermedad de Gódel sin el permiso de su paciente, pero mostrándose dispuesto «a tranquilizarle con respecto a que su enfermedad adopte una forma violenta». [\[255\]](#)

Sin esperanza alguna de volver a Europa, los Gódel se instalaron en Princeton y solicitaron la residencia permanente en Estados Unidos. Pero quedaba aún un obstáculo. Una vez reconocido el estatus de Gódel como ciudadano de origen austríaco, y no alemán —lo que le proporcionaba cierta garantía de acceso a la ciudadanía estadounidense—, se convertía en un posible candidato a ser llamado a filas por el ejército estadounidense. Y en abril de 1943 se le ordenó presentarse en el centro de reclutamiento del ejército en Trenton para ser sometido a un examen.

«El doctor Gódel, como la mayoría de los refugiados de la Alemania nazi, está impaciente por hacer todo lo que pueda en apoyo del esfuerzo bélico estadounidense —respondió Aydelotte a la junta de reclutamiento en nombre de Gódel—, pero, dadas las circunstancias, creo que debo informar a la Junta del Servicio Militar de que el doctor Gódel, en dos ocasiones desde que está en Princeton, ha mostrado señales de inestabilidad mental y nerviosa tales

como para que los médicos a los que se ha consultado le diagnosticaran una psicopatía.» Luego Aydelotte pasaba a alabar el genio de Gödel, al tiempo que pedía a la junta de reclutamiento que considerara que «esa capacidad, sin embargo, va lamentablemente acompañada de ciertos síntomas mentales que, aunque no impiden el trabajo activo en matemáticas, podrían revelarse graves desde el punto de vista del ejército». [\[256\]](#)

«Aunque la Junta se hace cargo de que está usted al corriente de la afección del señor Gödel, no podemos efectuar una descalificación de este hombre en la junta local —respondió la junta de reclutamiento—. Será necesario remitirle al puesto de reclutamiento para el examen militar.» [\[257\]](#) El ejército tenía sus propios psiquiatras, y ellos tomarían por sí mismos la decisión sobre el doctor Gödel.

«He obtenido cierta cantidad de evidencias adicionales acerca de él que he creído que la Junta del Servicio Militar se alegraría de tener», replicó Aydelotte, explicando que, durante su convalecencia en Austria, Gödel «tenía la idea de que toda la comida del sanatorio estaba envenenada, y solo comía lo que le preparaba y le llevaba una joven amiga de la familia (con la que más tarde se casaría), y, aun así, solo a condición de que ella comiera con él del mismo plato y con la misma cuchara»; y también que su madre «estaba tan asustada por su afección que por las noches dormía siempre en una habitación cerrada con llave». [\[258\]](#) Con esta declaración se dio por cerrado el expediente de Gödel en la Junta del Servicio Militar.

Aunque anteriormente Gödel había sido invitado al Instituto con un estipendio de 200 dólares al mes, desde su regreso en 1940 su remuneración fue aumentada a 4.000 dólares anuales. Su salario lo pagaba la Fundación Rockefeller, conforme a un acuerdo que se negociaba una vez al año. Una vez terminada la guerra, Von Neumann hizo campaña en favor de que se le adjudicara un puesto permanente. «Gödel ha realizado alguno de sus mejores trabajos (la hipótesis del continuo) en el Instituto, de hecho en un momento en que estaba peor que ahora —argumentaba Von Neumann—.

El Instituto está claramente comprometido en su apoyo, y resulta descortés e indigno mantener a un hombre del mérito de Gódel en la actual situación para siempre.» En cuanto al argumento de que su mejor época ya había quedado atrás, «es fácil que haga más trabajo en el campo de las matemáticas propiamente dichas —añadía Von Neumann—. Su probabilidad de hacerlo no es peor que la de la mayoría de los matemáticos pasados los treinta y cinco». [\[259\]](#)

El 19 de diciembre de 1945, Gódel fue nombrado miembro permanente con un estipendio de 6.000 dólares, y, si «en algún momento fuera incapaz de cumplir con sus deberes, se retiraría con una pensión de 1.500 dólares». Además, en una evidente concesión a quienes se oponían a su nombramiento, «se ha resuelto que el estipendio del profesor Gódel como miembro permanente no se extraiga del presupuesto de matemáticas, sino que provenga más bien de los fondos generales del Instituto». [\[260\]](#)

Los Gódel vivieron en una serie de apartamentos de alquiler hasta que en 1949 compraron una casa en Linden Lañe por 12.500 dólares, beneficiándose de una hipoteca del Instituto al 4 por ciento. «Hemos encontrado un lugar que resulta muy conveniente para nosotros y que (así pensamos los dos) es excepcionalmente hermoso —le escribió Gódel a Oppenheimer—. Esperamos tener pronto el placer de verles a usted y a la señora Oppenheimer en nuestra nueva casa y que pueda usted juzgar por sí mismo.» [\[261\]](#)

Tras completar su trabajo sobre la hipótesis del continuo, Gódel pasó a ocuparse de otras dos áreas de investigación: la cosmología, como resultado de haber descubierto una solución a las ecuaciones de Einstein que implicaba un universo rotatorio, y el legado de Gottfried Wilhelm Leibniz, el pensador del siglo XVII y pionero del cálculo, la aritmética binaria, el lenguaje universal, la *Monadología* y muchas otras cosas. «Gódel parecía creer —diría Stan Ulam— que una gran parte del trabajo de Leibniz, incluidas la lógica matemática y la computación, se había perdido u ocultado.» Los críticos rechazaron el estudio de los manuscritos de Leibniz por parte de Gódel y lo

consideraron un desperdicio de su talento matemático, que además rozaba lo místico; pero, para Von Neumann, «un hombre de su calibre e historial debería ser el único juez de lo que hace». [\[262\]](#)

A principios de 1946, cuando Von Neumann obtuvo la autorización para empezar a construir un ordenador en el Instituto, Herman Goldstine y Arthur Burks, ambos miembros del proyecto del ENIAC, se presentaron a trabajar en Fuld Hall. Burks venía todos los días desde Swarthmore, Pensilvania, y en Filadelfia cogía el mismo tren en la estación de la calle 30 que Goldstine, quien, todavía en activo, «había obtenido un coche del ejército que aparcaba en la estación de ferrocarril de Princeton... y nos llevaba al Instituto, y luego volvíamos a casa del mismo modo». [\[263\]](#)

No había una sola habitación libre, ni en la población de Princeton ni en Fuld Hall. Quienes habían estado fuera todo el tiempo que había durado el conflicto bélico habían regresado, y en su ausencia todas las construcciones no esenciales habían sido interrumpidas. La escasez de materiales de construcción seguía siendo tan grave como durante la guerra, y cualquier nueva construcción, o incluso la remodelación de las existentes, requería autorización de la Administración de Producción Civil. Incrementando aún más el hacinamiento del Instituto, el personal íntegro del Departamento Económico, Financiero y de Tránsito de la Sociedad de Naciones, al que Aydelotte había dado cobijo tras la disolución de su sede central en Ginebra, se apretujaba en el espacio disponible, incluida la sala de juntas, en el tercer y cuarto pisos de Fuld Hall. Un total de treinta y seis personas de ocho países distintos permanecerían allí instaladas durante casi cinco años, a pesar de que Veblen, entre otros, manifestó su «firme rechazo a dejar que el otro trabajo del Instituto se vea aún más entorpecido por nuestra hospitalidad con la Sociedad de Naciones». [\[264\]](#)

El gobierno mundial por el que abogaban tanto Albert Einstein como Edward Teller estaba allí desperdigado por los pasillos. «Mientras las naciones del mundo no puedan unirse en una especie de organización política eficaz,

sacrificando una parte de su soberanía nacional y delegando en dicha organización supranacional el poder de imponer la paz y resolver las controversias internacionales mediante procesos políticos y judiciales, el mundo seguirá viviendo en peligro de guerra», había advertido Aydelotte en febrero de 1941. [\[265\]](#) Cuando la guerra finalmente hubo terminado, había empezado ya el debate sobre la siguiente. En despachos adyacentes situados dos pisos por debajo de los de la Sociedad, Von Neumann abogaba por una guerra preventiva contra la Unión Soviética a la que seguiría una *Pax americana*, mientras que Albert Einstein contribuía con su llamamiento al desarme global, «Una salida», al manifiesto de la Federación de Científicos Estadounidenses, *Un mundo o ninguno*.

Todos los miembros del Instituto, excepto el profesorado permanente, o bien compartían despacho, o bien se habían visto temporalmente relegados a ocupar escritorios en la biblioteca. Algunos hasta dormían en el Instituto. Había un despacho, sin embargo, que permanecía vacío: el denominado «Fuld 219» (la forma abreviada de referirse al número 219 de Fuld Hall). Era un despacho pequeño, reservado para la secretaria del inquilino del número 217. «Se ha acordado que la habitación que comunica con el despacho del doctor Gódel podía ser utilizada por la gente que trabaja en el computador», informaba la Escuela de Matemáticas el 13 de febrero de 1946. «Kurt Gódel no tenía secretaria, supongo que no la quería —explicó Arthur Burks—, así que durante aquel verano, cuando, obviamente, todavía no teníamos un edificio para el ordenador, Herman y yo ocupamos el despacho de la secretaria junto al de Gódel. Tenía una pizarra en la pared.» [\[266\]](#)

«Los primeros meses pasamos la mayor parte del tiempo planeando la nueva máquina, calculando la estructura y las instrucciones, y periódicamente lo consultábamos con Von Neumann —recordaba Burks—. Una vez que tuvimos hecha cierta cantidad de planificación, decidimos que sería mejor ponerla por escrito, lo cual me pareció muy bien. Así que Herman y yo redactamos el primer borrador, y no recuerdo cómo lo dividimos, pero ambos trabajamos

en su redacción. Luego se lo enseñábamos a Von Neumann y él lo revisaba, o lo discutíamos y tal, y a finales de junio se publicó como informe.» [\[267\]](#)

«Discusión preliminar sobre el diseño lógico de un instrumento de computación electrónico» se publicó el 28 de junio de 1946. En 54 páginas, que se iniciaban con una exposición «de los principales componentes de la máquina», entre ellos «ciertos órganos principales relacionados con la aritmética, el almacenamiento de memoria, el control y la conexión con el operador humano», y terminaban con una lista de los códigos de instrucciones, el informe especificaba la arquitectura lógica, ya que no la encarnación física, de la nueva máquina. Dado que, como sus propios autores expresaban, «en el momento en que se escoge un componente dado como unidad de memoria elemental, se determina también más o menos gran parte del equilibrio de la máquina», se dedicaban cinco páginas enteras a la arquitectura de la memoria, concebida como cuarenta tubos Selectron capaces de almacenar cada uno de ellos 4.096 bits, que se redujeron a 1.024 en el momento en que hubo que empezar a tener en cuenta aspectos de ingeniería.

El informe pasaba luego a describir —con el suficiente detalle como para empezar a planear y codificar problemas reales— un conjunto completo de códigos de instrucciones. Había veintiuna instrucciones, complementadas por una serie de órdenes de entrada-salida explicadas al final del informe. Por último, «hay una instrucción más que el control tiene que ejecutar —concluían los autores—. Debería haber algún medio por el que el ordenador pueda señalar al operador cuándo ha concluido un cómputo, o cuándo el cómputo ha alcanzado un punto previamente determinado. De ahí que se necesite una instrucción que le diga al ordenador que pare y haga destellar una luz o sonar un timbre.» [\[268\]](#)

El informe fue ampliamente difundido. En mayo de 1947, Goldstine informó de que los clichés de impresión «están prácticamente desgastados, y, por lo tanto, probablemente ya no sea posible utilizarlos para hacer más copias».

[\[269\]](#) El 2 de septiembre de 1947 se publicó una segunda edición, rehecha con la nueva Varityper [\[X\]](#) del Instituto. Aunque solo se distribuyeron unos 175 ejemplares, pocos documentos técnicos han tenido un impacto tan grande a largo plazo. «Discusión preliminar sobre el diseño lógico de un instrumento de computación electrónico», redactada en el anexo al despacho de Gódel en la primavera de 1946, terminaría por materializar los sueños de Leibniz sobre computación digital y lenguaje universal que Gódel creía que habían sido ignorados.

Gottfried Wilhelm Leibniz, nacido en Leipzig en 1646, se matriculó en la universidad de dicha ciudad como estudiante de leyes a la edad de quince años. Nuestro universo, teorizaba Leibniz, había sido seleccionado de entre una infinitud de universos posibles, optimizado para que un mínimo de leyes condujeran a una máxima diversidad de resultados. Sus reflexiones sobre la naturaleza de la mente culminaron en su *Monadología* de 1714, un breve texto que describe un universo de partículas elementales mentales que él denominó «mónadas», o «pequeñas mentes». Estas entelequias (la materialización local de una mente universal) reflejaban en su propio estado interior el estado del universo en su conjunto. Para Leibniz, la relación daba lugar a la sustancia, y no al revés, como sostenía Newton. Precisamente, «¡Regreso a Leibniz!» fue como Norbert Wiener tituló un artículo suyo sobre mecánica cuántica en 1932. «No veo ninguna diferencia esencial entre el materialismo que incluye el alma como un tipo complejo de partícula material y un espiritismo que incluye las partículas materiales como un tipo primitivo de alma», añadió Wiener en 1934. [\[270\]](#)

Leibniz creía, siguiendo a Hobbes y anticipándose a Hilbert, que podía formalizarse un sistema coherente de lógica, lenguaje y matemáticas mediante un alfabeto de símbolos inequívocos manipulados según reglas mecánicas. En 1675 escribió a Henry Oldenburg, secretario de la Royal Society y su intermediario con Isaac Newton, que «llegará el tiempo, y lo hará pronto, en que tendremos un conocimiento de Dios y de la mente que

no será menos seguro que el de las figuras y los números, y en el que la invención de máquinas no será más difícil que la construcción de problemas en geometría». Anticipándose a lo que hoy denominamos «software», supo ver que la correspondencia entre lógica y mecanismo era bidireccional. En sus «Estudios sobre una geometría de situación», enviados a Christiaan Huygens en 1679, añadía la observación de que «podría realizarse la descripción de una máquina, independientemente de lo compleja que fuera, en caracteres que fueran meramente las letras del alfabeto, y, así, proporcionar a la mente un método para conocer la máquina y todas sus partes». [\[271\]](#)

Con su cálculo lógico, o *calculus ratiocinator*, Leibniz daba los primeros pasos hacia su visión de un «simbolismo universal en el que todas las verdades de la razón se reducirían a una especie de cálculo». Partiendo de que «se puede idear una especie de alfabeto de pensamientos humanos y [de] que todo se puede descubrir y juzgar por medio de una comparación de las letras de ese alfabeto y un análisis de las palabras formadas con ellas», propuso una codificación universal en la que se representarían conceptos primordiales mediante números primos, en una correspondencia generalizada entre números e ideas. [\[272\]](#)

«Creo que unos cuantos hombres selectos podrían completar la tarea en cinco años —afirmaba Leibniz—. Sin embargo, necesitarían solo dos para determinar, por medio de un cálculo infalible, las doctrinas más útiles para la vida, es decir, la de la moralidad y la metafísica.» Anticipándose a Gódel y a Turing, Leibniz prometía que a través de la computación digital «la humanidad tendrá una nueva clase de instrumento que aumentará el poder de la mente mucho más de lo que las lentes ópticas potencian los ojos... La razón acertará más allá de toda la duda únicamente cuando sea en todo tan clara y segura como solo la aritmética lo ha sido hasta ahora». [\[273\]](#)

Leibniz, que consideraba que la codificación binaria era la clave de un lenguaje universal, atribuía el mérito de su invención a los chinos, viendo en

los hexagramas del *I Ching* los restos «de una aritmética binaria... que yo he redescubierto unos miles de años más tarde». Las notas de Leibniz muestran el desarrollo de algoritmos sencillos para traducir entre la notación decimal y la binaria y para realizar operaciones mecánicamente iteradas con secuencias de ceros y unos. «En aritmética binaria hay solo dos signos, 0 y 1, con los que podemos escribir todos los números —explicaba—. Posteriormente he encontrado que expresa mejor la lógica de las dicotomías, lo que resulta de la mayor utilidad.» [\[274\]](#)

En 1679, Leibniz concibió un computador digital en el que los números binarios eran representados por fichas esféricas, gobernadas por puertas bajo un control mecánico. «Este cálculo [binario] lo podría llevar a cabo una máquina (sin ruedas) de la manera siguiente, sin duda fácilmente y sin esfuerzo —escribía—. Hay que dotar a un recipiente de agujeros, de tal modo que estos puedan abrirse y cerrarse. Deben estar abiertos en aquellos lugares que correspondan a 1 y permanecer cerrados en los que correspondan a 0. Por las puertas abiertas, unos pequeños cubos o bolitas van a caer en surcos; por las otras, nada. Esta [la matriz de puertas] puede variarse de una columna a otra como se requiera.» [\[275\]](#)

Leibniz había inventado el registro de desplazamiento, doscientos setenta años antes de tiempo. En los registros de desplazamiento del núcleo del ordenador del Instituto de Estudios Avanzados (y en todos los procesadores y microprocesadores desde entonces), gradientes de voltaje e impulsos de electrones ocupan el lugar de la gravedad y las bolitas, pero, por lo demás, funcionan tal como lo concibiera Leibniz en 1679. Con nada más que fichas binarias y la capacidad de desplazarse a derecha e izquierda, es posible ejecutar todas las funciones de la aritmética; pero, para poder hacer algo con esa aritmética, es necesario poder almacenar y memorizar los resultados.

«Hay dos medios posibles para almacenar una determinada palabra en la memoria Selectrón —explicaban Burks, Goldstine y Von Neumann—. Un

método es almacenar la palabra entera en un tubo determinado, y... el otro es almacenar en los correspondientes emplazamientos de cada uno de los cuarenta tubos un dígito de la palabra.» Este fue el origen de la metáfora de asignar números de habitación similares a cuarenta personas alojadas en un hotel de cuarenta plantas. «Obtener una palabra de la memoria en este esquema requiere, pues, un mecanismo de conmutación al que los cuarenta tubos estén conectados todos ellos en paralelo —proseguía la “Discusión preliminar”—. Tal esquema de conmutación nos parece más sencillo que la técnica necesaria en el sistema en serie, y es, obviamente, cuarenta veces más rápido. La diferencia esencial entre estos dos sistemas reside en el método de realizar una suma: en una máquina en paralelo, todos los pares de dígitos correspondientes se suman simultáneamente, mientras que en una en serie dichos pares se suman de forma seriada en el tiempo.» [\[276\]](#)

Los 40 tubos Selectrón constituían una matriz de 32 por 32 por 40 bits que contenía 1.024 secuencias de 40 bits de código, donde a cada secuencia se le asignaba un número de identidad único, o dirección numérica, de manera análoga a como en 1931 Gödel había asignado lo que hoy se denominan «números de Gödel» a enunciados lógicos. Manipulando las direcciones de 10 bits, era posible manipular las secuencias de 40 bits subyacentes, que contenían cualquier combinación deseada de datos, instrucciones o direcciones adicionales, todo ello modificable por el progreso del programa ejecutado en ese momento. «Esta capacidad de la máquina para modificar sus propias órdenes es uno de los aspectos que hace de la codificación la operación no trivial que tenemos que ver en ella», les explicó Von Neumann a sus patrocinadores de la marina en mayo de 1946. [\[277\]](#)

«La clase de pensamiento que estaba formulando Gödel, cosas como los sistemas de numeración de Gödel —formas de acceder a información codificada y demás—, te permiten seguir la pista de los paquetes de información a medida que se forman, y... luego puedes deducir ciertas consecuencias importantes —explicó Bigelow—. Creo que esas ideas eran

muy conocidas para Von Neumann, [quien] pasaba una buena cantidad de su tiempo tratando de hacer lógica matemática y trabajaba en el mismo problema que resolvió Gödel.» [\[278\]](#)

La arquitectura lógica del ordenador del IAS, anticipada por Gödel, se formuló en Fuld 219. «En la década de 1930, la realización de un dispositivo físico real que pudiera funcionar como un ordenador programable de procesamiento de información de uso general estaba todavía unos decenios por delante; sin embargo, alguien familiarizado con los modernos lenguajes de programación que examine hoy en día el trabajo de Gödel sobre la indecidibilidad escrito aquel año, verá una secuencia de 45 fórmulas numeradas que se parece muchísimo a un programa de ordenador —afirmó Martin Davis, que llegó al Instituto bajo el patrocinio de la Oficina de Investigación Naval en septiembre de 1952—. Al demostrar que la propiedad de ser el código de una prueba en los PM [*Principia Mathematica*] es expresable dentro de los PM, Gödel tuvo que abordar muchas de las mismas cuestiones que afrontarían quienes diseñan lenguajes de programación y quienes escriben programas en dichos lenguajes», señaló Davis. [\[279\]](#)

Gödel había demostrado en 1931 los poderes del direccionamiento y la autorreferencia numéricos. En un ordenador de programa almacenado, una de las reglas es que se pueden cambiar las reglas. Gödel era bien consciente de que la máquina universal de Turing, y su puesta en práctica por parte de Von Neumann, eran demostraciones, si no descendientes directos, de sus propias ideas. «Lo que Von Neumann quizá tenía en mente aparece más claramente a partir de la máquina universal de Turing —le explicó más tarde a Arthur Burks—. Podría decirse que la descripción completa de su comportamiento es infinita, porque, en vista de la no existencia de un procedimiento de decisión que prediga su comportamiento, la descripción completa solo podría darse por medio de una enumeración de todos los casos. La máquina universal de Turing, donde la ratio de las dos

complejidades es infinita, podría considerarse, pues, un caso restrictivo.» [\[280\]](#)

La creencia de Leibniz en una codificación digital universal encarnaba su principio de máxima diversidad: complejidad infinita a partir de reglas finitas. «Nada es una analogía mejor, o incluso una demostración de semejante creación, que el origen de los números como aquí se representan, utilizando solo la unidad y el cero o nada», le escribió al duque de Brunswick en 1697, instándole a que se acuñara un medallón de plata (con un retrato del duque en el reverso) destinado a llamar la atención del mundo sobre los poderes de la aritmética binaria y «la creación de todas las cosas de la nada por la omnipotencia de Dios». [\[281\]](#)

¿Y dónde entra aquí el sentido? Si a todo se le asigna un número, ¿disminuye eso el sentido en el mundo? Antes al contrario: lo que Gödel (y Turing) demostraron es que los sistemas formales producirán, tarde o temprano, enunciados significativos cuya verdad pueda demostrarse solo fuera del propio sistema. Esta limitación no nos confina a un mundo con menos sentido en absoluto; demuestra, por el contrario, que vivimos en un mundo donde existe un sentido superior.

«Nuestra existencia terrenal, dado que en sí misma tiene un sentido muy dudoso, solo puede ser un medio hacia el objetivo de otra existencia —le escribió Gödel a su madre en 1961—. La idea de que todo en el mundo tiene sentido es, al fin y al cabo, precisamente análoga al principio de que todo tiene una causa, en el que se basa toda la ciencia.» [\[282\]](#)

* * * *

Capítulo 7

6J6

La ausencia de una señal nunca debería utilizarse como una señal.

JULIAN BIGELOW, 1947

Julian Himely Bigelow, el cuarto de cinco hermanos, nació en Nutley, Nueva Jersey —a unos 68 kilómetros de Princeton—, el 19 de marzo de 1913. A la edad de tres años, mientras estaba al cuidado de una tía, «encontró un destornillador, quitó todos los pomos de las puertas y los apiló formando un gran montón, y luego necesitó bastante tiempo para volver a atornillar todos los pomos». [\[283\]](#) Su padre, Richard Bigelow, renunció a una carrera como docente en Wellesley para sacar adelante a su familia —y esquivar la Depresión—, retirándose a Millis, Massachusetts, en busca de una vida rural autosuficiente.

Los Bigelow vivían en una casa de labranza del siglo XVIII hecha de madera tallada a mano y sin electricidad, salvo un único circuito en el sótano que impulsaba una bomba de agua. Julian instaló a escondidas un circuito adicional que terminaba en una única bombilla eléctrica situada en su dormitorio. A los diecisiete años ingresó en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés), repartiendo leche en un Lord T para pagarse la matrícula, y en 1936 se graduó con un máster en ingeniería eléctrica. «Cuando estaba en el MIT —recordaba—, el trabajo de electrónica y de radio que había estado haciendo era considerado algo más bien sospechoso y quizá hasta frívolo. Uno tenía que estar diseñando grandes generadores, o al menos un gran tiratrón de descarga en arco o algo así.» [\[284\]](#)

El primer trabajo de Bigelow fue en la Sperry Corporation, una empresa de Brooklyn, Nueva York, construyendo giroscopios de navegación y maquinaria

para la detección automática de defectos en las vías férreas. Posteriormente Sperry se fusionaría con el fabricante de equipamiento de oficina Remington Rand para convertirse en Sperry Rand, uno de los primeros conglomerados informáticos, que adquirió la Eckert-Mauchly Electronic Control Company y defendió sin éxito las patentes del ENIAC contra Honeywell tras alcanzar un acuerdo de explotación mutua de derechos de patente con IBM. A finales de 1938, Bigelow dejó Sperry y se incorporó a IBM en Endicott, Nueva York, como el primero de sus empleados que ocupó el puesto de ingeniero electrónico. «Por entonces IBM era una empresa muy orientada a la mecánica, y el concepto de computación electrónica resultaba casi repugnante», recordaba. [\[285\]](#)

Al estallar la Segunda Guerra Mundial, Bigelow, que fue un aviador aficionado durante casi toda su vida, volvió al MIT para recuperar su historial académico y se alistó en la marina como cadete de aviación. «Pero cuando llegué —explicó—, tuve que ir a ver a mi jefe de departamento, y este me agarró y me dijo: “No podemos dejarle ir; le necesitamos. Tenemos a ese chico, Norbert Wiener, que va por ahí diciendo que sabe cómo ganar la guerra sin la ayuda de nadie, por así decirlo, con sus ideas intelectuales. Nadie entiende de qué está hablando, así que necesitamos que trabaje con él para ver qué saca en limpio”.» [\[286\]](#)

Al final de la Primera Guerra Mundial, tras abandonar el grupo de Oswald Veblen en el Campo de Pruebas de Aberdeen, Wiener había encontrado trabajo en el *Boston Herald*, donde su carrera como periodista y autor de reportajes en profundidad resultó efímera. El problema, según sus propias palabras, era que «no había aprendido a escribir con entusiasmo sobre una causa en la que no creía». Tras ser despedido del *Herald*, fue contratado como instructor en el MIT, que se convertiría en su hogar durante los cuarenta y cinco años siguientes. Wiener era «atrevido y poco cauto, instintivo tan a menudo como lógico, y está completamente inadaptado a los meticulosos y graduales procedimientos analítico-experimentales —le

informaba Bigelow a Von Neumann en 1946—. Ha tenido experiencias tristes intentando trabajar con grandes grupos, una práctica que cabría esperar a la hora de realizar programas experimentales fiables; se ve obligado a trabajar con pocos fondos y el respaldo de unos cuantos individuos entusiastas». [\[287\]](#)

Bigelow trabajaría como ayudante de Wiener entre 1940 y 1943.

Wiener, cuya miopía le había impedido alistarse en el cuerpo de infantería en la Primera Guerra Mundial, había decidido abordar el problema del control del fuego antiaéreo, el reto de artillería más espinoso de la segunda. En 1940, los bombarderos alemanes estaban lanzando una lluvia de explosivos de gran potencia sobre Gran Bretaña. A continuación podía tocarles el turno a objetivos estadounidenses. El recién creado Comité de Investigación de Defensa Nacional (NDRC, por sus siglas en inglés) de la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico (OSPvD) presentó una amplia gama de propuestas, entre las que la colaboración entre Wiener y Bigelow se perfilaba como una de las apuestas a más largo plazo. Wiener abordó el problema desde los principios matemáticos básicos, mientras que Bigelow trató de incorporar las matemáticas de Wiener a una guía automática de fuego antiaéreo —conocida como el «debomber»— [\[X\]](#) que jamás llegaría a construirse.

La primera sugerencia de Wiener, formulada a Vannevar Bush en septiembre de 1940, fue la de soslayar la necesidad de precisión «haciendo estallar en el aire contenedores de etileno licuado, propano o gases de acetileno, de modo que una región apreciable se llenara de una mezcla explosiva [e] interceptara a la aviación enemiga». [\[288\]](#) Tan antideportiva propuesta no obtuvo respuesta alguna de Vannevar Bush.

Entonces Wiener se dirigió a Warren Weaver, a quien se le había asignado la responsabilidad de los medios antiaéreos en Estados Unidos, y le propuso investigar «el diseño de una guía o aparato de predicción» que «prevea dónde estará el avión después de un lapso de tiempo concreto». [\[289\]](#)

Weaver, que, debido a la guerra, había hecho una pausa en su trabajo como

—según su propia expresión— « *filantropoide en jefe*» de la Fundación Rockefeller, concedió los 2.325 dólares solicitados en diciembre de 1940, iniciándose así el proyecto de DIC (Detección, Instrumentos, Controles) 5980 del NDRC. En 1940, un artillero antiaéreo enfrentado a bombarderos que volaran a gran altitud tenía alrededor de diez segundos para observar un objetivo que se aproximara antes de efectuar una estimación de la distancia a la que se encontraba, activar una espoleta de tiempo y disparar un proyectil de 90 mm que estaría hasta veinte segundos en vuelo. La labor del artillero consistía en adivinar dónde estaría el avión en el momento preciso, mientras que la del piloto consistía en adivinar dónde estaría el proyectil en aquel mismo instante y dirigir el avión a otra parte.

Wiener y Bigelow consideraron el conjunto formado por el observador, el arma, el avión y el piloto como un sistema probabilístico integrado. Las probabilidades favorecían al piloto; en 1940 solo uno de aproximadamente cada 2.500 proyectiles antiaéreos daba en el blanco. En un informe preliminar, explicaban que tenían la intención de «situar el análisis del problema de predicción sobre una base puramente estadística, determinando en qué medida el movimiento de un objetivo resulta predecible sobre la base de unos datos y unos precedentes conocidos, y en qué medida el movimiento de dicho objetivo no resulta predecible». [\[290\]](#)

Los elementos predecibles indicarían la posición futura más probable del objetivo, mientras que los elementos imprevisibles determinaban la «extensión» óptima: el grado en que el artillero dispersaría el fuego debido a que se desconocía la posición exacta del objetivo. Esto equivalía a la distinción, en teoría de la comunicación, entre señal y ruido. Claude Shannon (trabajando con el asesoramiento de Wiener) y Andréi Kolmogórov (trabajando independientemente en la Unión Soviética) formularon ideas similares casi al mismo tiempo. «La transmisión de un solo elemento fijo de información carece de valor comunicativo alguno —explicaba Wiener en su informe a Weaver en 1942—. Debemos tener un repertorio de mensajes

posibles, y sobre ese repertorio una medida que determine la probabilidad de dichos mensajes.» [\[291\]](#)

Wiener había impulsado su carrera matemática con una teoría del movimiento browniano, la trayectoria aleatoria que sigue una partícula microscópica en respuesta al ruido termodinámico de fondo. En consecuencia, estaba preparado para abordar el peor escenario posible: un avión que cambia de rumbo al azar entre un momento y el siguiente. La idea de Wiener, reforzada por la experiencia de Bigelow como piloto, era que el espacio de las trayectorias posibles (equivalente al espacio de los mensajes posibles en teoría de la comunicación) está restringido por la envolvente de vuelo del avión y las limitaciones físicas del ser humano que lo pilota. Casi todo el vuelo de combate, observaba Bigelow, está compuesto de curvas, no de líneas rectas. Una extrapolación de la trayectoria de vuelo en función de líneas rectas resultaba una predicción fiable solo de dónde *no* iba a estar el avión en cualquier momento futuro.

Wiener era estrictamente un teórico. Bigelow, «un tranquilo y meticuloso hijo de Nueva Inglaterra cuyo único vicio científico es un exceso de virtud científica», según la evaluación de Wiener, era, en cambio, un ingeniero práctico. Rodeado de máquinas se sentía como en casa. «Durante muchos años, Bigelow cuidó toda una serie de coches viejos y decrépitos —explicó Wiener—, que, según todos los cánones del automovilista, hacía años que debían haber terminado en el desguace.» Alice Bigelow, la hija de Julian, recuerda haber «aprendido a arrancar un coche con alguien empujando y yo conduciendo en cuanto fui lo bastante mayor para poder ver, desde los nueve años o así, porque los coches siempre estaban estropeados. Papá era el que empujaba. “Muy bien, muy bien, solo un empujoncito más y funcionará.” Y en Princeton eso resultaba inconcebible». [\[292\]](#)

Igualmente inconcebible resultaba en Princeton vivir en otro lugar que no fuera una vivienda convencional. Bigelow, en cambio, compró una antigua herrería en Clay Street, en el centro de Princeton, y en 1952 la trasladó a

una parcela vacía de Mercer Street, entre el antiguo campo de batalla y el templo cuáquero de Stony Brook. Cuando se rompieron las negociaciones con las autoridades municipales y del distrito de Princeton sobre el coste de mover el tendido eléctrico para permitir el paso del edificio, «él lo cortó por la mitad como si fuera un pastel y luego lo juntó de nuevo», recuerda Jule Charney, jefe del grupo meteorológico del IAS. [\[293\]](#)

Bigelow tuvo también toda una serie de avionetas, entre ellas una Cessna que compró averiada en Wyoming, restauró para que pudiera volver a volar y luego pilotó hasta su casa. Hubo un tiempo en que un motor de avión desmontado ocupaba la sala de estar de los Bigelow en Princeton, oculto bajo un mantel cuando había invitados. Wiener, que se había revelado incapaz de mantenerse erguido sobre un caballo, tenía miedo de volar, pero «estaba dispuesto a correr el riesgo y volar conmigo —recordaba Bigelow—. Fuimos de Framingham a Providence y luego a la inversa. En el aeroplano había unos tubos de acero que sujetan el parabrisas, y sus manos dejaron huellas en ellos». [\[294\]](#)

Al preguntarle por qué Wiener —que tenía los recursos del MIT a su disposición, y cuyo interés en la computación digital era anterior al de Von Neumann— no había construido su propio ordenador, Bigelow respondió: «Él no era un hombre dado a hacer cosas prácticas. Un ordenador ha de trabajar». [\[295\]](#) Lo mismo ocurría con una guía antiaérea, y, así, el 28 de octubre de 1941 Warren Weaver envió a Wiener y Bigelow una lista de preguntas centradas todas ellas en una duda: la teoría de Wiener, ¿iba a traducirse en algo que pudiera afectar al resultado de la guerra o no?

El 2 de diciembre de 1941, cinco días antes del ataque japonés a Pearl Harbor, Bigelow le respondió con una carta de 59 páginas, marcada «para ser destruida después de leerla», donde le informaba de los progresos realizados hasta el momento en el desarrollo del *debomber*. El objetivo, tal como lo describía Bigelow, era una guía antiaérea que mantuviera la señal (la trayectoria de vuelo del avión) separada del ruido, introducido tanto por

el intento del piloto de actuar de manera impredecible como por los errores de observación y procesamiento a lo largo del proceso. «Volver a separar la señal de la “sopa” en estos dos últimos términos no es tarea fácil, y en el caso del ruido aleatorio o browniano sin un espectro simple, resulta absolutamente imposible hacer la filtración perfectamente —señalaba Bigelow—. Resultado: terreno perdido.» [\[296\]](#)

Bigelow recopiló una lista de catorce «máximas para los pronosticadores ideales», la primera de las cuales rezaba: «Haga todas las observaciones en el mismo sistema de coordenadas que finalmente se usará para apuntar el arma». Las máximas segunda a cuarta aconsejaban dividir la información disponible en aquella que se necesitaba inmediatamente y aquella que se necesitaría más tarde, mientras que la quinta añadía que, «si en algún momento hay que filtrar el ruido de la señal, ello debe hacerse en la fase más temprana posible, y no cuando ambos ya se han mezclado con otros ruidos y señales, por la misma razón por la que en una línea de señales se utilizan estaciones repetidoras, y no filtros y amplificadores en sus extremos». La máxima séptima aconsejaba: «Nunca estime lo que se puede calcular con precisión», y la octava: «Nunca haga conjeturas sobre lo que se puede estimar»; y en el caso de que fuera absolutamente necesario hacerlas, «Nunca haga conjeturas a ciegas» era la novena máxima.

Las máximas 10 a 14 especificaban cómo realizar una predicción óptima cuando el objetivo «tiene el carácter de un movimiento browniano impreso en un sistema resonador». Los métodos existentes para rastrear la posición cambiante de un objetivo «lo refieren forzosamente a un punto de observación irrelevante, destruyendo así su simetría fundamental», mientras que un predictor ideal debería asumir que el objetivo obedece las leyes de conservación de la física «sobre las que se superpone una modulación aleatoria simétrica en el tiempo». [\[297\]](#) El *debomber* de Wiener-Bigelow configuraría un modelo de simulación del comportamiento del avión en el

marco de referencia perteneciente al propio avión, en lugar de referirlo a un observador situado en tierra.

«Deberíamos despejar cualquier duda en torno al concepto de «predicción» —confesaba Bigelow—. En sentido estricto, ningún operador de red —u operador humano— puede predecir en absoluto el futuro de una función de tiempo... Los llamados “adelantos” [*leads*] evaluados por las redes o cualesquiera otros medios son en realidad “retardos” [*lags*] (funciones del pasado conocido) artificialmente invertidos y añadidos al valor actual de la función.» [\[298\]](#) Sin embargo, la estrategia de Bigelow funcionaba. Se construyó un modelo de prueba de concepto, que permitía a un operador que controlaba un punto de luz blanca seguir un punto de luz roja impulsado por un plato de tocadiscos modificado, que representaba un objetivo evasivo, por el interior de una sala oscura. Wiener «se sentía emocionado con la idea de que sus cálculos fueran relevantes y útiles —recordaba Bigelow—. Y lo demostraba expulsando con violencia el humo de su cigarro. La sala se iba llenando de humo. Él no paraba de levantarse y sentarse repentinamente. Estaba un poquito demasiado ansioso por aceptar la demostración que yo realizaba como una prueba de que aquello funcionaba.» [\[299\]](#)

Wiener «estaba realmente en el séptimo cielo —añadió Bigelow—. Yo no quería establecer las ideas matemáticas de las que él hablaba, sino simplemente materializarlas de una manera continua y eficaz en el tiempo, [lo cual] probablemente para esa guerra resultaba condenadamente imposible.» [\[300\]](#) En la medida en que las posibilidades de poner en práctica sus ideas disminuían, Wiener se esforzaba más en la parte teórica. «Intentaba trabajar contrarreloj —explicó—. Más de una vez me pasé toda la noche haciendo cálculos para cumplir una fecha tope imaginaria que en realidad no existía. Yo no era totalmente consciente de los peligros de la Benzedrina, y me temo que la utilicé en grave detrimento de mi salud.» [\[301\]](#)

El 1 de julio de 1942, George Stibitz, el presidente de la División de Guía Antiaérea del NDRC, pasó el día con Bigelow y Wiener, anotando en su diario

que «su predictor estadístico obra milagros... Para un adelanto de un segundo, el comportamiento de su instrumento es realmente asombroso. Warren Weaver amenaza con traer una sierra para metales en la próxima visita y cortar las patas de la mesa para comprobar que no tengan algún cable oculto en algún sitio». [\[302\]](#)

La colaboración Wiener-Bigelow, aunque no fue capaz de producir un *debomber* que funcionara, influyó en otros frentes. En 1943, junto con el neurofisiólogo Arturo Rosenblueth, Bigelow y Wiener escribieron un artículo titulado «Comportamiento, finalidad y teleología», que sugería unificar los principios subyacentes al comportamiento orientado a una finalidad entre los organismos vivos y las máquinas. «En el pasado se ha interpretado la teleología como algo que implica una finalidad y el vago concepto de una “causa final”», señalaban, y explicaban que «nosotros hemos restringido la connotación de comportamiento teleológico, aplicando esta designación solo a las reacciones orientadas a una finalidad que están controladas por la diferencia entre el estado del objeto que actúa en un momento dado y el estado final interpretado como dicha finalidad». La teleología se identificaba, pues, con la definición de Bigelow-Wiener de retroalimentación negativa, en que «las señales del objetivo se utilizan para restringir la información de salida, que de otro modo iría más allá de dicho objetivo». [\[303\]](#)

Este artículo sirvió como fundamento de la informal Sociedad Teleológica, cuya reunión inaugural, convocada por Von Neumann, se celebró en el Instituto de Estudios Avanzados del 4 al 6 de enero de 1945. Con el patrocinio de la Fundación Josiah Macy Jr., siguieron luego una serie de conferencias más formales, y adquirió fómalo que pasaría a conocerse como el «movimiento cibernético». «La cibernética fue debidamente reconocida — explicó el neurofisiólogo Warren McCulloch— cuando Julian Bigelow señaló el hecho de que era solo la información relativa al resultado del acto anterior la que había de retornar.» [\[304\]](#)

En 1943 Bigelow dejó el MIT, reasignado por Warren Weaver al Grupo de Investigación Estadística del Panel de Matemáticas Aplicadas del NDRC. Bajo los auspicios de la Universidad de Columbia, dieciocho matemáticos y estadísticos —entre ellos Jacob Wolfowitz, Harold Hotelling, George Stigler, Abraham Wald y el futuro economista Milton Friedman— abordaron una amplia gama de problemas relacionados con la guerra, empezando por la cuestión de «si en un avión de combate sería mejor llevar ocho ametralladoras del calibre 50 o cuatro cañones de 20 milímetros». [\[305\]](#) Bigelow se incorporó al grupo para ayudar con un visor de bombardeo automático en desarrollo para cazabombarderos de alta velocidad destinados a atacar blancos fijos en tierra; es decir, lo opuesto al problema del *debomber*. Fue ascendido a director adjunto, y permaneció con el grupo durante treinta y un meses.

Mientras, en Princeton, Von Neumann intentaba hacer despegar el Proyecto de Computador Electrónico. Presper Eckert, que se esperaba que dirigiera al equipo de ingenieros, se mostraba renuente a dejar la Escuela Moore por la inseguridad del Instituto, y envió en su lugar a su cuñado, el ingeniero mecánico John Sims. Este fue contratado el 18 de enero de 1946 y se le encargó que empezara a buscar instrumentos, componentes electrónicos y materiales, convirtiéndose en el primer empleado del proyecto. Herman H. Goldstine, que anteriormente había estado en el ejército y en la Escuela Moore, pasaría a ser el segundo empleado, y el 25 de febrero de 1946 aceptó un puesto de director adjunto (que inicialmente se le había ofrecido el 27 de noviembre de 1945). Su sueldo fue fijado en 5.500 dólares; menos que el de un profesor del Instituto, pero más que el de un visitante, quebrantando así la distinción vigente desde 1933.

Desde el momento en que las negociaciones con Eckert perdieron ímpetu, estancándose del todo cuando Eckert y Mauchly decidieron montar un negocio por su cuenta, Von Neumann empezó a buscar un ingeniero jefe alternativo. Cuando se le pidió su opinión, Wiener puso a Bigelow en el

primer puesto de la lista. «Telefonamos de Princeton a Nueva York, y Bigelow aceptó venir en su coche —recordaba Wiener—. Esperamos hasta la hora señalada, pero allí no aparecía ningún Bigelow. Tampoco había llegado una hora después. Cuando ya estábamos a punto de perder la esperanza, oímos el jadeo de un vehículo decrepito. Fue con la última explosión posible de un cilindro con la que finalmente apareció en un coche que habría muerto meses antes en cualesquiera otras manos que no fueran las de un ingeniero tan competente.» [\[306\]](#)

Bigelow fue contratado el 7 de marzo de 1946 con un sueldo de 6.000 dólares, a cobrar a partir del 1 de junio, tras un período transitorio a razón de 25 dólares diarios como consultor hasta que pudiera trasladarse a Princeton desde Nueva York. Los Aydelotte ofrecieron a Julian y Mary Bigelow un alojamiento temporal en Olden Manor, incluido «el uso de la cocina para tantas comidas como la señora Bigelow se sienta con fuerzas de preparar».

[\[307\]](#) Hubo varios meses de idas y venidas mientras Julian completaba sus obligaciones en el Grupo de Investigación Estadístico y Mary, que era psicóloga, organizaba el traslado de su consulta de Nueva York a Princeton.

Los Bigelow se convirtieron en pilares de la estrechamente unida comunidad del Instituto. Mary era una buena psicóloga, y Julian dominaba con soltura no solo las matemáticas y la física, sino también las prácticas no documentadas que se requerían en la Nueva Jersey de la posguerra para conseguir que algo fuera construido o reparado. «Yo llegué a Princeton en el otoño de 1948, cuando Katharina tenía tres años, y las dos nos sentíamos bastante perdidas en aquel vasto y nuevo país —recuerda Verena Haefeli, hoy Verena Huber-Dyson—. Todo el mundo era amable, algo que en Suiza no te ocurría sin el apropiado preámbulo de presentaciones. Fue Mary Bigelow quien logró hacerme sentir a gusto con sus maneras naturalmente afables y extravertidas y su delicada comprensión de la psique humana. Recuerdo la atractiva apostura de Julian, su figura imponente y sobre todo sus claros ojos

azules. Para mí, que acababa de llegar de la mezcla europea, era el prototipo de la rectitud y la determinación estadounidenses.» [\[308\]](#)

Arthur Burks, colega de Goldstine en el proyecto del ENIAC, fue contratado el 8 de marzo de 1946 (con un sueldo de 4.800 dólares), mientras que el ingeniero electrotécnico James Pomerene lo fue (con un sueldo de 4.500 dólares) el 9 de marzo. Con veintiséis años de edad y recién casado, Pomerene se presentó a trabajar el 1 de abril, y pronto se le unió un compañero de trabajo de su empresa, Hazeltine (y antiguo alumno de la Escuela Moore), Willis Ware, que aceptó un puesto el 13 de mayo y empezó a trabajar el 1 de junio. Pomerene y Ware viajaron en tren a Princeton para conocer a Bigelow. «Volvimos a Nueva York con Julian en su pequeño y viejo Austin verde —recordaba Ware—. Para cuando Pom y yo llegamos a Nueva York —todavía trabajábamos en Hazeltine—, nos sentíamos absolutamente cautivados. [Bigelow] es un constante torrente de ideas.» [\[309\]](#) Pomerene y Ware pudieron intercambiar sus apartamentos en Nueva York con dos residentes de Princeton que trabajaban para las Naciones Unidas en Manhattan, reemplazando así un largo viaje en tren por un corto paseo en bicicleta a lo largo de Nassau Street y Olden Lañe.

Durante la guerra, Pomerene y Ware habían trabajado ambos en sistemas de radar IFF (siglas en inglés de «identificación de amigo o enemigo») por impulsos codificados. En el momento en que el radar hizo posible alcanzar blancos de noche o fuera del alcance de la vista, las fuerzas aéreas de países por lo demás rivales acordaron crear un sistema de señales codificadas que identificara a su aviación como amiga o enemiga. A diferencia del trabajo de los criptógrafos durante el conflicto, cuya tarea consistía en diseñar códigos que fueran lo más difíciles de interpretar posible, el objetivo de la IFF era desarrollar códigos que fueran lo más difíciles de *malinterpretar* posible.

Ingenieros como Pomerene y Ware (y sus homólogos Frederick C. Williams y Tom Kilburn por parte británica) desarrollaron circuitos para comunicar impulsos codificados, a altas velocidades a través de canales ruidosos, sin

errores. Ese mismo problema habrían de afrontarlo quienes pretendían construir ordenadores digitales electrónicos: cómo transmitir impulsos codificados, miles de veces por segundo, de un ciclo de máquina al siguiente. Debemos, pues, la existencia de ordenadores digitales de alta velocidad a los pilotos que prefirieron ser derribados intencionadamente por sus enemigos antes que accidentalmente por sus amigos.

Empezó a formarse un pequeño equipo. Richard W. Melville, un marinero de primera clase que era técnico especialista en radar, «llegó con un sombrero de marino en la cabeza y pidió trabajo —contó Bigelow—; a mí me gustó, y parecía bastante espabilado». ^[310] Melville resultó ser «un mago», en opinión de Pomerene, a la hora de improvisar las instalaciones de laboratorio requeridas, al tiempo que supervisaba la ingeniería mecánica de la máquina. Mantuvo el equipo, por lo demás dispar, funcionando sobre ruedas en un espacio reducido, hizo milagros para encontrar materiales y piezas procedentes de excedentes de guerra, y contrató a estudiantes de instituto aficionados a la mecánica una vez que se ultimaron los diseños y hubo que producir copias de cuarenta fases de los registros de desplazamiento y acumuladores del prototipo. Su esposa, Claire, alquiló un apartamento libre y abrió un parvulario para los niños del Instituto que eran demasiado pequeños para asistir a las escuelas públicas de Princeton.

William S. Robinson, un mecánico, fue contratado el 21 de marzo de 1946, y en el taller mecánico —cuando hubo uno— se le unieron Winfield T. Lacey y Frank E. Fell. Ralph Slutz, un estudiante de posgrado de física en Princeton, aceptó una oferta el 5 de abril para empezar a trabajar a jornada completa el 1 de julio. «Fui a llamar a la puerta de John von Neumann —recuerda Slutz— y le dije: “He oído que va usted a construir un computador, ¿habría alguna posibilidad de trabajar en ello?”. Él me respondió que sí.» Slutz había conocido a Von Neumann durante la guerra, trabajando en ondas expansivas, y se había enterado de las posibilidades de realizar computación empleando tubos de vacío. «Recuerdo estar sentado en las clases —

rememora— dibujando máquinas de sumar en lugar de prestar atención a la mecánica cuántica.» [\[311\]](#)

Robert F. Shaw, uno de los veteranos del ENIAC que todavía seguían en la Escuela Moore, aceptó un puesto como miembro del personal de ingeniería el 13 de mayo. John (Jack) Davis, también de la Escuela Moore (y antiguo vecino y compañero de instituto de Willis Ware), aceptó una oferta el 13 de abril para presentarse a trabajar el 1 de junio. «Yo solía sentarme en la cama de Jack Davis y escuchar la radio de onda corta en receptores que habíamos construido con moldes para tartas de nuestras madres», recuerda Ware. [\[312\]](#) Ames Bliss, hijo del experto en balística Gilbert Bliss, aceptó un puesto como administrador de contratos el 14 de mayo, con un sueldo de 4.000 dólares anuales. Akrevoe Kondopria, de Filadelfia, secretaria de Goldstine en la Escuela Moore, fue transferida al IAS y empezó a trabajar el 3 de junio de 1946.

«Yo tenía dieciséis años y provenía de una familia de inmigrantes griegos. Mi padre era de una isla jónica pobre, y apenas sabía leer y escribir. Me quedó bastante claro que yo no podía ir a la universidad, por mucho que quisiera», recuerda. Su orientador escolar le aconsejó que renunciara a la universidad y que, en cambio, solicitara trabajo como secretaria en la Escuela Moore de la Universidad de Pensilvania. «Allí conocí al capitán Goldstine, con sus dos galones dorados, esbelto y elegante en su uniforme, y a la señora Goldstine, Adele, que vestía de manera informal y fumaba mucho. Por alguna razón me contrataron. Yo, que nunca había estudiado álgebra, me vi lanzada a un mundo completamente extraño para mí, y eso cambió mi vida.»

«Los Goldstine eran maravillosamente alentadores, y cuando se acercaba el momento de trasladarse a Princeton me pidieron que me fuera con ellos», explicó Kondopria. En un primer momento iba y venía en tren desde Filadelfia, hasta que le ofrecieron una habitación en casa del matemático Salomón Bochner, al final de Springdale Road. Utilizando una máquina de escribir manual al principio, y más tarde la nueva Varityper del Instituto,

ayudó a redactar los informes de progreso que empezaron a generarse aun antes de que se iniciara la construcción de la máquina. «Recuerdo lo tedioso que resultaba, porque tenías que cambiar el tipo de letra del texto al disco de símbolos matemáticos, y, por supuesto, tenías que ser muy muy preciso», recuerda. Al principio no tenía ni la menor idea de los cálculos sobre la bomba de hidrógeno que impulsaban el proyecto del IAS. «Nicholas Metrópolis siempre estaba enviando cartas al apartado de correos 1663 de Santa Fe, Nuevo México, y recibiendo cartas desde la misma dirección — recordaba—. Lo que supuse fue que debía de tener una novia allí.»

Akrevoe permaneció en Princeton hasta agosto de 1949, cuando su madre, que «pensaba que estaba viviendo por encima de mi condición», insistió en que volviera a Filadelfia, diciéndole, a modo de ultimátum: «Es hora de volver; tienes demasiados delirios de grandeza». Pero resultaba difícil marcharse. «Los Goldstine y los jóvenes ingenieros me trataban como a una hermana pequeña —rememoró—, y probablemente me enseñaron más de lo que habría aprendido en la universidad.» La presencia de una brillante pelirroja de diecisiete años era justo lo que necesitaba el grupo de computación. «Algunos de aquellos tíos eran muy desvalidos —añadió—. No tenían demasiadas habilidades sociales.» [\[313\]](#)

Entre el ambiente retrógrado de Princeton y la atmósfera enrarecida del Instituto, a los ingenieros no les resultaba nada fácil encajar. A Goldstine, que bajo su uniforme militar era un matemático, y Burks, un lógico que terminaba sus días de servicio del período bélico como ingeniero electrónico, se les había proporcionado un refugio en el anexo al despacho de Gódel en el segundo piso, desde donde fueron fácilmente asimilados en la cultura de Fuld Hall. Pero, cuando empezaron a aparecer ingenieros, la acogida se enfrió. La torre de marfil estaba llena. «He pensado muy seriamente en el problema de prescindir de esos quince trabajadores que han de llegar a mediados de junio —le escribió Aydelotte a Von Neumann—. El único espacio realmente

utilizable en nuestro sótano es el contiguo al servicio de caballeros, al que son ustedes cordialmente bienvenidos.» [\[314\]](#)

«No había espacio para nosotros, de modo que durante los cinco o seis primeros meses estuvimos apretujados en la sala de calderas con unos cuantos bancos de trabajo que colocamos allí —explicó Bigelow—. Ni siquiera había un despacho en el que pudiera refugiarme, y pensar en la lógica de los circuitos, sin tener gente rondando mi escritorio y dando vueltas a mi alrededor.» Todas las compras de materiales de construcción, hasta la de un simple tablón, tenían que ser revisadas por la Junta de Producción Civil. «La madera procesada estaba racionada debido a la escasez de viviendas —añadió Bigelow—, de modo que le compramos roble serrado en bruto a un proveedor local de leña.» [\[315\]](#)

Los eruditos de los pisos superiores rehuían a los ingenieros. «La actitud predominante entre los humanistas con respecto a la idea de un laboratorio en el Instituto era de un horror indisimulado —recordaba Bigelow—. La actitud de los matemáticos iba desde el extremismo hasta algunos casos de leve interés; sin embargo, los más extremistas de entre ellos moderaban sus objeciones en sintonía con el respeto y la estima universal de que disfrutaba Von Neumann.» [\[316\]](#)

«Nosotros hacíamos cosas con las manos y nos ensuciábamos construyendo equipamiento. Eso no era el Instituto —recordaba Ware—. [\[317\]](#) La llegada de seis ingenieros con su panoplia de osciloscopios, soldadores y maquinaria de taller resultaba algo chocante.»

«Cuando empezamos, nos dieron un espacio temporal en el segundo sótano, alrededor de las calderas —añadió Ware—. No era tan malo, ya que era verano y estaban apagadas.» El trastero del sótano estaba vacío. «Nuestro primer trabajo fue construir mesas de trabajo en las que poder trabajar —recordaba Slutz—. Le preguntamos a Von Neumann si pagaría la pintura si pintábamos las paredes de un color más razonable que el que tenían cuando nos trasladamos. Y lo hizo.» Los ingenieros también tuvieron que montar su

propia instalación eléctrica, y, evocando la instalación que hiciera Julian Bigelow de un único circuito en su dormitorio, el primer gasto del equipo de ingenieros del Proyecto de Computador Electrónico fue de cuatro dólares, registrados por Bernetta Miller en abril de 1946, en «trabajos de electricidad.» [\[318\]](#)

«Nuestros bancos de trabajo estaban alrededor de las calderas, y todos los rincones disponibles estaban abarrotados de equipamiento de taller y de laboratorio —explicó Ware—. Con la llegada del otoño, el ambiente se caldeó considerablemente; tanto, de hecho, que el grupo disfrutó de una mejora de su estatus social y se trasladó a unas despensas desocupadas en el primer sótano.» [\[319\]](#) Cuando se trasladaron del nivel inferior de la sala de calderas al primer sótano, directamente debajo de la planta baja de Fuld Hall, hubo fuertes protestas en todos los frentes. Para los humanistas, los miembros del grupo del ordenador eran matemáticos, y para los matemáticos eran ingenieros. «Hasta la curiosidad, tan natural en toda la comunidad científica, se vio superada por el apasionado distanciamiento con respecto a cualquier cosa que concebiblemente pudiera desviarse del pensamiento puro y teórico», explicó Klári von Neumann. Bigelow describe la situación como la de unas personas «que tenían que pensar en lo que intentaban hacer» frente a otras «que parecían saber lo que intentaban hacer». [\[320\]](#)

Los matemáticos y los humanistas ocupaban alas opuestas de Fuld Hall. Se habían atrincherado en sus defensas. «Me he enterado con cierta consternación de que un grupo de expertos en electrónica se ha trasladado a la mitad del sótano de nuestra ala del Instituto», se quejaba el clasicista Benjamin Merritt a Aydelotte en 1946. [\[321\]](#) Ingenieros y eruditos se veían obligados a coexistir. «De vez en cuando había reuniones sociales —recordaba Ware—, y decían: “Bueno, yo estoy en matemáticas” o “yo estoy en física”, o “yo estoy en... ¿dónde está usted?”. Y entonces, cuando les contestabas, quedaba claro que eras un paria social. Allí éramos algo así como ciudadanos de quinta clase.» [\[322\]](#)

La disparidad de sueldos tampoco ayudaba. Los ingenieros cobraban 5.000 o 6.000 dólares al año, apenas lo suficiente para impedir que aceptaran otros empleos mejor pagados en la industria, pero más de lo que se pagaba a los eruditos visitantes con titulaciones superiores. «Muchas de esas personas, que eran buenos electrotecnólogos, tenían, por ejemplo, solo una licenciatura —explicó Bigelow—, mientras que el propio Instituto tenía miembros visitantes con doctorados de cuatro o cinco universidades importantes del mundo, que venían aquí con becas de investigación que ascendían a 2.500 o 3.000 dólares. Así que a causa de esto surgieron celos realmente importantes.» ^[323] El presupuesto para el Proyecto de Ordenador, financiado íntegramente por el gobierno, pronto pasó a superar el de cualquiera de las escuelas existentes.

El grupo del ordenador tenía que salir de Fuld Hall, y tenía que hacerlo pronto. Pero, dadas la escasez de materiales de construcción en la posguerra y la resistencia tanto de la vieja guardia del Instituto como de los vecinos residentes a cualquier cosa que se pareciera a un laboratorio, esto no resultaba nada fácil de hacer. «Por entonces los materiales de construcción estaban racionados —señaló Bigelow—. No podías ir y construirte una casa, un garaje o algo parecido. Si querías unos metros de madera tenías que conseguir un certificado para ello, y aún más con cosas tales como bancos de trabajo y herramientas e instrumentos.» ^[324] Resultó ser más difícil obtener cosas bajo la Administración de Producción Civil de lo que lo había sido bajo la Junta de Producción de Guerra. Se negociaba mucho entre bastidores. «Acabo de hablar con Sam Feltman (del Departamento de Armamento) acerca de nuestro contrato —le explicaba Goldstine a Von Neumann, cuando escaseaba el dinero—. Dice que ha recibido su asignación de dinero justo esta mañana y que espera la aprobación del Departamento de Guerra en dos o tres días, en cuyo momento autorizará al Distrito de Armamento de Filadelfia a darme la pasta, *Qott sei Dank!* A cambio, pide dos favores: primero, quiere un ejemplar de la *Teoría de juegos*, que trataré de enviarle;

segundo, quiere ayuda para colocar a su hijo en la facultad de medicina.» [\[325\]](#)

El otro problema era dónde ubicar el edificio. «Existe una clara opinión entre el cuerpo docente de que el edificio del ordenador no debería estar en la misma parcela que Fuld Hall», le escribió Aydelotte a Herbert Maas, sugiriendo un emplazamiento al otro lado de Olden Lañe, cerca del viejo granero. «La mayor parte de los edificios del Instituto están juntos, conectados por un camino o un pasaje abovedado —señaló Klári von Neumann—. Este fue emplazado lejos, al otro lado de un gran campo vacío bordeado de arbustos altos, después del cual venían una calle y luego el edificio; se podía fingir fácilmente que no tenía absolutamente nada que ver con el resto.» [\[326\]](#)

Arthur Burks recuerda haber ayudado a Herman Goldstine y Oswald Veblen a escoger el sitio. «Anduvimos por los bosques, pero estaba claro que Veblen no quería que se cortara ningún árbol para construir el edificio. Al final eligió un sitio que hacía hondonada y que no estaba demasiado lejos... Quería que el edificio tuviera una sola planta para que no fuera llamativo.» El lugar resultaba demasiado pantanoso para construir tal como estaba. «El sitio que hemos escogido necesita algo de relleno, y he observado que están ustedes excavando inmensas cantidades de tierra con vistas a construir los cimientos de la nueva biblioteca de Princeton —le escribió Aydelotte a la universidad—. Por lo que veo, sus camiones parecen llevarse la tierra a una distancia considerable, y me preguntaba si podíamos comprar unos cuantos camiones de esa tierra.» [\[327\]](#)

El contrato del Proyecto de Computador Electrónico con sus patrocinadores públicos asignaba 23.000 dólares a la construcción de una «estructura temporal» que albergara el ordenador, mientras que las propuestas para la construcción de un edificio cuyo aspecto resultara aceptable para la comunidad del Instituto llegaban a los 70.000 dólares. Después de muchas negociaciones, se decidió que se construiría un edificio de bloques de

cemento y tejado plano por 51.000 dólares, mientras que el Instituto pagaría 9.000 dólares adicionales por un revestimiento ornamental de ladrillo y se reservaría el derecho a añadir un tejado a dos aguas más adelante. «Las paredes exteriores del edificio se están revistiendo de ladrillo para asegurar una obra estanca, ya que nos dijeron que el tipo de estuco actual tiene una impermeabilidad cuestionable —le escribió Aydelotte al coronel Power, el jefe de armamento del ejército, que cuestionaba el coste de la capa de ladrillo—. Sin embargo, a fin de que no se nos pudiera plantear ninguna crítica en este aspecto, siempre hemos tenido la intención de pagarlos 9.000 dólares de este añadido al edificio de los fondos de Instituto.» [\[328\]](#)

El nuevo edificio no estaría listo para hacer el traslado hasta las Navidades de 1946. Mientras tanto, el equipo de ingenieros se preparaba para la construcción de la máquina. Se montó un pequeño taller mecánico (equipado con un torno, una prensa taladradora y una cepilladora) en la sala de calderas, y los ingenieros comenzaron a acumular componentes electrónicos, instrumentos y herramientas. «Conseguimos componentes que procedían de excedentes y construimos nuestras propias fuentes de alimentación —recordaba Bigelow—. Realmente nos lo hicimos todo.» Los componentes electrónicos seguían estando restringidos para usos civiles. «Cada vez que queríamos algo, tratábamos de conseguir que el Mando de Material Bélico del ejército nos lo buscara; y por entonces había vendedores ambulantes que compraban excedentes de guerra y que luego iban por ahí intentando venderlos, y también conseguimos un montón de material de ese modo —añadió Willis Ware—. La máquina de Princeton se construyó a base de excedentes de guerra. Usamos todo lo que el ejército nos pudo encontrar, así que, de una manera sutil, eso afectó al diseño.» [\[329\]](#)

Los ingenieros usaron sus contactos personales y su equipamiento personal para ayudar a construir el ordenador, y utilizaron los recursos del proyecto del ordenador para proyectos personales realizados en su tiempo libre. Desde el equipo de alta fidelidad de Einstein hasta la antena de televisión de

Herman Goldstine, se fabricaron infinidad de cosas en el taller del ECP. «Princeton tiene la característica única de estar casi exactamente a mitad de camino entre Filadelfia y Nueva York, de modo que RCA diseñó una antena que, accionando un interruptor, apuntaba electrónicamente a Nueva York o a Filadelfia —explicó Willis Ware—. Así que todos nosotros, en nuestro taller, con la ayuda de Melville, construimos y montamos aquellas antenas para un montón de gente.» [\[330\]](#) Jack Rosenberg llevó las cosas aún más lejos e hizo sus propias *grabaciones*. «Ll solía escuchar todos los sábados en la [emisora de radio] WQXR a Toscanini tocando en Nueva York, y lo grababa con una extraordinaria alta fidelidad —explicó Morris Rubinoff—. Ahora bien, una extraordinaria alta fidelidad teniendo en cuenta que la antena que tenía implicaba que oías cada fragmento de electricidad estática, interferencia y ruido que llegaba, y te sentías orgulloso de poder oírlo todo, sin duda era alta fidelidad, de 15 ciclos a 20.000 o 30.000 o así.» [\[331\]](#) Con la sustitución de Aydelotte por Oppenheimer, la atmósfera de despreocupación empezó a cambiar. «Ha resultado cómodo, en especial para quienes están ocupados en el trabajo del ordenador, servirse de los tipos de descuento del contrato del ordenador para realizar esencialmente compras personales de equipamiento y piezas de radio —le escribió Oppenheimer a Von Neumann en 1949—. Sin embargo, parece que en varios casos hemos tenido esos artículos cargados en nuestros libros durante un período impropiaamente largo de tiempo.» [\[332\]](#)

El diseño del ordenador vendría determinado en parte por los mandamientos que Burks, Goldstine y Von Neumann imponían desde arriba («Ellos eran nuestra biblia», afirmó Rosenberg), [\[333\]](#) y en parte por lo que la disponibilidad de componentes excedentes de guerra dictaba desde abajo. «Compramos gran cantidad de excedentes de componentes eléctricos y electrónicos, tubos de electrones, etc., de manera más bien indiscriminada —contó Bigelow—. Leíamos la “Discusión preliminar...” a menudo y discutíamos sobre la tarea de ingeniería que esta planteaba entre nosotros y con Johnny

y Herman, quienes estaban ya probando procedimientos de codificación preliminares sobre el papel.» [\[334\]](#)

Desde un primer momento hubo tensión entre Goldstine, el director adjunto del proyecto, y Bigelow, el ingeniero jefe. En casi todas las cuestiones importantes, desde el diseño de circuitos (en que Bigelow se aferraba a «una extraña e incipiente idea como el modo de construir una sumadora», según se quejaría Goldstine a Von Neumann) hasta el delicado problema de los derechos de patente, ambos discrepaban. La cadena de mando era a menudo objeto de discusión. Solo el decidido entusiasmo de Von Neumann era lo bastante fuerte como para mediar. «Él evitaba que Herman y yo nos peleáramos mediante alguna técnica maravillosa —expuso Bigelow—. Nos llevábamos como el agua y el aceite, o como el perro y el gato, y Von Neumann mantenía a este aquí y ese allí, y limaba las asperezas.» [\[335\]](#)

«Yo no hablaba con Von Neumann muy a menudo —dijo Ralph Slutz—. Más bien hablaba con Bigelow, y Bigelow hablaba con Von Neumann. Ya sabe el dicho: los Cabot solo hablan con los Lodge, y los Lodge solo hablan con Dios.» [\[XIII\]](#) Las conversaciones con Von Neumann solían ser llamadas a larga distancia. «Él tenía el hábito de telefonar a cualquier hora del día o de la noche —contó Goldstine—. Incluso a las dos de la madrugada podía llamarte por teléfono y decirte: “Ya sé cómo hacer tal o cual cosa”. Y a continuación te lo explicaba. El principal problema de trabajar a larga distancia con Von Neumann era que por entonces las conexiones telefónicas no eran muy buenas, y Von Neumann se pasaba la mayor parte del tiempo diciendo: “¿Hola?”. De modo que, siempre que la línea se oía bien, lo único que hacíamos era decir todo el rato: “¿Hola?”. Pero a pesar de todo eso, solucionamos muchas cosas por ese medio.» [\[336\]](#)

Von Neumann quería saber cómo funcionaba todo, pero dejaba en manos de los ingenieros el hacer que funcionara. «La faceta experimental no estaba hecha realmente para Von Neumann —explicó Goldstine—. Una vez que entendía el principio de algo, los espantosos detalles, como el hecho de que

tenías que poner condensadores de paso no sé dónde y toda esa clase de trabajo sucio de ingeniería, eso realmente no le interesaba. Reconocía que eran cosas esenciales, pero no era lo suyo. No habría tenido la paciencia de sentarse a hacerlo; habría sido un pésimo ingeniero.» [\[337\]](#)

Según Bigelow, «von Neumann nos daba siempre un consejo: no inventar nada». Eso ayudó a situar en cabeza el proyecto del IAS. «Una de las razones por las que nuestro grupo tuvo éxito y dio un gran salto por delante de otros, fue que establecimos ciertos objetivos limitados, a saber, que nosotros no produciríamos ningún nuevo componente elemental —añadió Bigelow—. Probaríamos y usaríamos los que ya había disponibles para los fines de comunicaciones estándar. Escogimos tubos de vacío que se produjeran en serie y de tipos muy comunes, a fin de poder contar con componentes fiables y no tener que dedicarnos a la investigación de componentes.» [\[338\]](#)

La unidad de información fundamental e indivisible es el bit. La unidad de computación digital fundamental e indivisible es la transformación de un bit entre sus dos formas posibles de existencia, como estructura (memoria) o como secuencia (código). Eso es lo que hace una máquina de Turing cuando lee una marca (o la ausencia de ella) en una casilla de la cinta, modificando consecuentemente su «estado mental» y realizando (o borrando) una marca en otra parte. Hacer eso a velocidad electrónica requiere un elemento binario capaz de conservar un determinado estado a lo largo del tiempo, hasta que, en respuesta a un impulso electrónico o alguna otra forma de estímulo, o bien modifica o bien comunica dicho estado. «La mayoría de los elementos esenciales o “células” de la máquina son de naturaleza binaria, o “de apagado y encendido” —explicaban Bigelow y sus colegas en su primer informe de progreso provisional—. Aquellos cuyo estado viene determinado por su historia y son estables en el tiempo, son elementos de memoria. Los elementos cuyo estado viene determinado esencialmente por la amplitud existente de un voltaje o señal, se denominan “puertas”.» [\[339\]](#)

En 1946, en vísperas de la invención del transistor, no estaba claro si la probabilidad no nula de error en cualquier transformación digital individual provocaría la interrupción de un cómputo que implicaba millones de transformaciones. El ENIAC era el único precedente a gran escala. «El mero hecho de que el ENIAC existiera y de que el ENIAC funcionara me daba mucha más confianza de que podía hacerse algo de lo que habría sido el caso si no hubiera habido aquella demostración de una máquina tan grande funcionando», afirmó Ralph Slutz. [\[340\]](#) Pero la nueva máquina sería al ENIAC lo que el ENIAC era a una calculadora de escritorio. ¿Qué elemento computacional fundamental disponible era lo bastante fiable como para funcionar?

La respuesta era el 6J6, un tubo de vacío en miniatura de doble tríodo que se fabricó en enormes cantidades durante y después de la Segunda Guerra Mundial. De unos dos centímetros de diámetro y unos cinco de longitud, y con una base de siete pines, el 6J6 impulsó las comunicaciones militares durante la guerra y la industria de la electrónica de consumo derivada de ellas. Integrado de hecho por dos tubos en una misma lámpara, un cátodo común (pin 7) abastecía a dos placas (pines 1 y 2) y dos rejillas (pines 5 y 6) distintas. La arquitectura de doble tríodo permitía que el tubo fuera utilizado como un conmutador de cambio de estado (*toggle*), siempre con una de sus dos partes en estado conductor, y asimismo se requería menos de un microsegundo para cambiar de uno a otro. «Y ese [*toggle*] era el término en el que insistía Julian Bigelow como el más adecuado para describirlo que hace *eljlip-jlop* [\[XIII\]](#) Y tenía razón —explicó Pomerene—, ya que *flip-flop* no es precisamente el término correcto para referirse a un circuito biestable que permanece en aquel estado en el que lo pones.» Esta constituía una representación mucho más segura de los datos binarios que un elemento cuyo estado se represente simplemente como encendido o apagado, y donde el fallo resulta indistinguible de uno de sus dos estados operativos. Como lo describiría más tarde Bigelow, «un contador binario es simplemente un par

de células biestables que se comunican por puertas que tienen la conectividad de una banda de Moebius». [\[341\]](#)

«Si el 6J6, que era el doble tríodo, no hubiera existido durante la guerra y no hubiera sido ampliamente utilizado, no sé qué habríamos usado como tubo», afirmó Willis Ware. El uso generalizado del 6J6 no solo supuso que estuviera disponible a bajo precio, sino que también resultara más fiable. Uno de los últimos trabajos de Bigelow en el Grupo de Investigación Estadística de Columbia estaba relacionado con la fiabilidad de las municiones. «Había habido muchas explosiones accidentales de unidades de combustible sólido de cohete en aviones, donde la explosión arrancaba el ala del avión —explicó—. Y eso ocurría de forma muy extraña y errática. Así que teníamos a algunas personas excelentes allí en estadística, entre ellas nada menos que Abraham Wald, que fundamentó el análisis secuencial mientras trabajaba con nuestro grupo. El pensamiento estadístico se había convertido en una parte de mi modo de pensar sobre la vida.» Resultó que los tubos más fiables eran los producidos en mayores cantidades, como el 6J6. «Aprendimos que los tipos de tubo que se vendían más caros, y de los que se afirmaba que estaban hechos especialmente para durar más, solían ser menos fiables en cuanto a fallos estructurales que los tipos de tubo ordinarios fabricados en lotes de producción más grandes», observó Bigelow. [\[342\]](#)

Que una calidad superior no requería un mayor coste era algo que no resultaba fácil de aceptar, sobre todo desde que IBM, que había utilizado el 6J6 como elemento computador en su popular modelo 604 de calculadora electrónica, había creado recientemente su propia planta experimental de producción de tubos en Poughkeepsie, Nueva York, a fin de desarrollar tubos de calidad especialmente diseñados para la computación y con un coste mucho más elevado.

Hubo un intenso debate en torno a la cuestión de si la elección de un tubo producido en masa como el 6J6 era o no un error. Del total de 3.474 tubos que finalmente tendría el ordenador del IAS, 1.979 serían 6J6. «El ordenador

en su conjunto puede verse como un gran banco de pruebas de tubos», observó Bigelow. [\[343\]](#)

«Se consideraba esencial saber si los tubos en miniatura como el 6J6 tienen una vida radicalmente inferior en comparación con otros tipos, lo que en cierta medida haría de su uso en el diseño un error garrafal; por consiguiente, se concibió y se realizó una tosca prueba de su ciclo vital para obtener algún tipo de límite estadístico de su fiabilidad», informaba Bigelow a finales de 1946. Cuatro baterías de tubos 6J6, con veinte en cada batería —lo que daba un total de ochenta tubos—, fueron instalados en un banco de pruebas de modo que quedaran orientados hacia arriba, hacia abajo y en las dos posiciones horizontales (con el cátodo de lado y con el cátodo plano). El banco entero se montó sobre una placa de aluminio sometida a vibración, y se dejó funcionar los tubos durante tres mil horas. «Fallaron un total de seis, cuatro en las primeras horas, uno aproximadamente a los tres días y otro al cabo de diez días —señalaba el informe final—. Hubo cuatro fallos del filamento calentador, una rejilla defectuosa y un fallo en el sellado de vacío.» [\[344\]](#)

El problema no eran los tubos que fallaban completamente —podían incorporarse rutinas de autodiagnóstico que los hicieran fáciles de identificar y reemplazar—, sino los tubos que, o bien no cumplían las especificaciones ya de entrada, o bien dejaban de cumplirlas con la edad. ¿Cómo se podía confiar en obtener resultados correctos? Mientras Von Neumann empezaba a formular, de arriba abajo, las ideas que desarrollaría en su artículo de 1951 «Organizaciones fiables de elementos no fiables» y en el de 1952 «La lógica probabilística y la síntesis de organismos fiables a partir de componentes no fiables», los técnicos del Instituto afrontaban el mismo problema, pero enfocándolo de abajo arriba.

Hizo falta un ingeniero experto en electrónica e ingenios bélicos para resolver el problema de construir un ordenador fiable con piezas excedentes de guerra no fiables. Jack Rosenberg, de New Brunswick, Nueva Jersey, fue el

primer miembro de su familia en asistir a la universidad al ingresar en el MIT en 1934, a la edad de dieciséis años. Cuando cursaba los últimos años de secundaria, había asistido a una exposición titulada «Siglo de progreso» y celebrada en Chicago, y «había pasado casi la semana entera en la denominada Sala de la Ciencia. Allí vi un puesto del MIT y me dirigí al hombre que había dentro, que me dijo que probablemente el MIT era la escuela donde resultaba más difícil entrar. Así que cursé mi solicitud en el MIT». Rosenberg empezó en matemáticas, pero luego pasó a ingeniería eléctrica, graduándose entre los primeros de su promoción con dos títulos. «Cuando iba por ahí haciendo entrevistas en 1939, veía a muchos de mis compañeros de clase ya trabajando —contó—. Yo sabía que era más inteligente que ellos, pero no era así como iban las cosas.» Así que aceptó un empleo como ingeniero civil para el Cuerpo de Señales del ejército estadounidense, convirtiéndose en oficial cuando Estados Unidos entró en la guerra.

En julio de 1945, Rosenberg iba a bordo de un barco de transporte de tropas que navegaba a ocho nudos por el Pacífico rumbo a Filipinas a fin de preparar la invasión de Japón. «Como era radioaficionado, pasaba la mayor parte del día en la sala de radio escuchando señales de onda corta», explicó. Dado que aquel lento barco de transporte era un blanco fácil, no se permitía la radiotransmisión. El 6 de agosto de 1945 oyó la noticia del lanzamiento de la bomba atómica de Hiroshima, seguida de la noticia de la de Nagasaki el 9 de agosto. «El comandante de tropa del barco estaba tan sobrecogido como yo —explicó—. Me dijo que siguiera escuchando la radio. Sus órdenes para la invasión no se habían modificado.» Entonces llegó la noticia de la rendición incondicional de Japón. «Las bombas habían salvado nuestras vidas», añadió Rosenberg, y, por muchas dificultades que Von Neumann (y Oppenheimer) llegaron a plantear a sus patronos, él nunca lo olvidó. [\[345\]](#)

Rosenberg permaneció en el sur de Filipinas hasta abril de 1946. En el economato militar encontró un ejemplar de *Energía atómica con fines*

militares, una descripción no técnica rápidamente desclasificada del Proyecto Manhattan redactada por Henry Smyth, presidente del departamento de física de la Universidad de Princeton. Tras ser licenciado del ejército, en Fort Dix, Nueva Jersey, en julio de 1946 —después de volver a través del Pacífico en un barco de vapor propulsado por turbinas a treinta nudos—, Rosenberg fue a Princeton a buscar trabajo en la investigación de energía nuclear. Fue contratado por el Departamento de Física para trabajar en la instrumentación para el nuevo ciclotrón de la universidad, pero, según explicó, «mi entusiasmo duró alrededor de un mes».

«A comienzos de 1947 —prosiguió— me informaron de que en el Instituto de Estudios Avanzados un científico famoso estaba buscando un ingeniero para desarrollar una máquina electrónica de un tipo que nadie salvo él entendía.» Rosenberg se entrevistó con Bigelow y Von Neumann, y empezó a trabajar en julio. «Había mucho antisemitismo en el ejército. Pero no había antisemitismo con Johnny», explicó.

«Johnny solía reunirse con cada uno de nosotros por separado más o menos una vez por semana, para preguntarnos qué habíamos construido, cómo funcionaba, qué problemas teníamos, qué síntomas observábamos, qué causas habíamos diagnosticado... —dijo Rosenberg—. Cada pregunta era precisamente la mejor en función de la información que había recopilado hasta el momento. Su lógica era intachable: nunca hacía una pregunta que fuera irrelevante o errónea. Sus preguntas venían en rápida sucesión, revelando una mente que era veloz como el rayo y que estaba libre de error. En aproximadamente una hora conseguía que cada uno de nosotros entendiera lo que habíamos hecho, lo que habíamos descubierto y dónde buscar la causa del problema. Era como mirar en un espejo muy preciso con todas las imágenes innecesarias eliminadas, dejando solo los detalles importantes.» [\[346\]](#)

Cuando llegó Rosenberg, el problema era cómo construir un registro de desplazamiento de cuarenta fases, que constituiría el núcleo de la capacidad

de computación de la máquina. «Era fácil construir un registro de dos fases que funcionara de manera fiable —explicó Rosenberg—. Cuando se agregaba una tercera fase aparecían errores ocasionales, y agregar una cuarta hacía que el registro fuera inútil. Descubrimos que las características eléctricas de los tubos de vacío eran muy distintas de las especificaciones publicadas en sus manuales, incluso cuando los tubos eran nuevos.»

Según Rosenberg, después de nuevas y más extensas pruebas y de consultar con los principales fabricantes de tubos, cuya respuesta fue que «nadie más se había quejado nunca de su producto, y que ya tenían bastantes clientes sin nosotros», se informó a Von Neumann de que «no había tubos fiables ni resistencias fiables». Su respuesta fue que «tendríamos que aprender a diseñar una máquina de cuarenta fases fiable a partir de miles de componentes no fiables», explicaría Rosenberg. Y así lo hicieron. [\[347\]](#)

Pasaron de diseñar basándose en las especificaciones de los tubos publicadas por los fabricantes a lo que ahora se conoce como el «diseño basado en el peor caso posible», que, «en reconocimiento a la que entonces era la nueva moda en la ropa femenina, Bigelow llamaba “la nueva imagen”». Tal como lo explicó Ralph Slutz: «Probamos un lote de mil tubos y seleccionamos el tubo más débil que encontramos y el tubo más fuerte que encontramos, y a eso le añadimos un factor de seguridad extra del 50 por ciento». [\[348\]](#)

Los nuevos parámetros de diseño se extendieron de los tubos individuales a los conmutadores de cambio de estado, las puertas, los módulos de circuito estándar y, finalmente, los registros de cuarenta fases a gran escala, que, después de un tedioso trabajo de depuración, funcionaron. Bigelow también argumentó, contrariamente a lo que indica la intuición, que la fiabilidad general de la máquina podría mejorarse acelerándola, señalando que «aumentar la velocidad de hecho puede aumentar la certeza, y no al revés». A diferencia de los dispositivos mecánicos, los tubos de vacío se debilitan con la edad, no con el uso, «y sufren fallos accidentales en proporción a su

población», y no a su velocidad operativa. Así pues, se pudo lograr la fiabilidad óptima haciendo funcionar el mínimo número de tubos posible y a la máxima velocidad. «Por último —señalaba Bigelow—, los errores intermitentes son los más embarazosos y difíciles de detectar cuando la intermitencia coincide aproximadamente con el ritmo operativo.» [\[349\]](#)

Los ingenieros del IAS lograron obtener un comportamiento digital colectivamente aceptable de unos tubos cuyo rendimiento habría sido en gran medida inaceptable si se hubieran probado según las especificaciones propias de los tubos individuales. Ello se consiguió siguiendo el mismo principio que Bigelow y Wiener habían desarrollado en su trabajo con el *debomber*. Separar la señal del ruido en cada etapa del proceso —en este caso, en la transferencia de cada bit— en lugar de dejar que el ruido se acumulara a lo largo de dicho proceso. A ello se debe, tanto como al milagro del silicio, el hecho de que hoy tengamos microprocesadores que funcionan tan bien. Todo el universo digital en su conjunto lleva todavía la impronta del 6J6.

«En cierta ocasión pensamos que sería una buena idea extraer los tubos de vacío de la máquina y someterlos simplemente a una serie de pruebas rutinarias —recordaba James Pomerene—. ¡Y nunca en tu vida habrías visto un puñado de tubos más malos!» [\[350\]](#)

* * * *

Capítulo 8

V40

Por más que todas esas máquinas deban situarse siempre a una inconmensurable distancia por debajo de la más sencilla de las obras de la Naturaleza, sin embargo, a partir de la inmensidad de esos ciclos que incluso la inventiva humana despliega en algunos casos ante nuestra vista, quizá se nos permita realizar una vaga estimación de la magnitud de ese paso inferior en la cadena de razonamiento, que nos lleva hasta la Naturaleza de Dios.

CHARLES BABBAGE, 1837

El tetranitrato de pentaeritritol (PENT) fue un explosivo de gran potencia especialmente importante en la Primera Guerra Mundial; sin embargo, todavía en la segunda se desconocía su estructura molecular. Andrew Booth —cuyo padre inventó, entre otras cosas, el avance del encendido en automoción y un termopar para cocina diseñado para alimentar una radio en una casa sin electricidad— era un estudiante de posgrado en la Universidad de Birmingham cuando se le encargó la tarea de utilizar la cristalografía de rayos X para descubrirla.

Booth, que había «alarmado a su madre al reparar fusibles a los dos años de edad», en 1937 obtuvo una beca universitaria para estudiar matemáticas en Cambridge, donde fue asignado al matemático puro G. H. Hardy, un emparejamiento condenado desde el principio. Cuando Hardy le dio un

ultimátum diciéndole que o dejaba de perder el tiempo en otros asuntos o perdía su beca, Booth, que creía que, «si las matemáticas no son útiles, no vale la pena dedicarse a ellas», dejó Cambridge para estudiar física, ingeniería y química por sus propios medios. Durante un aprendizaje en los talleres donde se fabricaba el motor de avión Armstrong Siddeley, en Coventry, mejoró el diseño de los reflectores y montó una instalación de rayos X para inspeccionar las piezas del motor. Ello le valió una beca de posgrado, patrocinada por la Asociación de Investigación de los Productores de Caucho Británicos (BRPRA, por sus siglas en inglés), para determinar la estructura molecular del PENT, aunque por entonces no se lo dijeran explícitamente. «Solo me dieron un material y me pidieron que descubriera qué estructura tenía —explicó—. Lo hicimos, y, por supuesto, en ese momento comprendimos que era lo que era.» [\[351\]](#) Además del PENT, el grupo de Booth dedujo la estructura del RDX, un nuevo explosivo plástico que desempeñaría un papel clave en el desarrollo de las bombas atómicas. Registrando las pautas de difracción producidas por rayos X dispersados desde una muestra de material cristalino, es posible, aunque difícil, inferir la pauta de densidades de los electrones y, por ende, la estructura molecular que ha producido la difracción observada. Dada una estructura molecular conocida es fácil predecir la pauta de difracción, pero dada una pauta de difracción observada, no hay ninguna manera fácil de determinar la estructura molecular. Se empieza formulando una conjetura, y luego se realizan los cálculos apropiados para ver si dicha conjetura resulta en alguna medida correcta. Después de muchas repeticiones puede surgir una estructura verosímil, o no.

«Lo que hacía la gente antes del momento en que llegué con mis sugerencias de computación era dedicarse a tantear y confiar en tener suerte —recordaba Booth—. Y eso requería un tiempo endiabladamente largo, y por lo general daba muy mal resultado.» La física subyacente a la dispersión de rayos X era sencilla, pero trabajar a la inversa requería fuerza bruta. «Hay

un montón de cálculos bastante desagradables —añadió—. Para una estructura típica como la que yo hice, hay alrededor de cuatro mil reflexiones... y tienes que calcular la suma total de los malditos átomos de tu estructura para calcular el maldito ángulo de fase. Hacerlo a mano requiere un tiempo endiabladamente largo. Yo tenía a un chico y una chica que me ayudaban con los cálculos. Nos llevó tres años.» [\[352\]](#)

Con la estructura del PENT determinada y su doctorado en la mano, Booth fue transferido a la sede central de los laboratorios de la BRPRA en Welwyn Garden, cerca de Londres. Allí, bajo la supervisión de John W. Wilson, empezó a construir una serie de calculadoras mecánicas y electromecánicas destinadas a acelerar el trabajo de análisis de rayos X. Eso llamó la atención del cristalógrafo Desmond Bernal, que en aquel momento estaba poniendo en marcha un laboratorio «biomolecular» en la Universidad Birkbeck de Londres para abordar el estudio de moléculas orgánicas más complejas que hasta entonces se habían resistido al análisis estructural. «Yo estaba construyendo aquel ordenador digital cristalográfico para un uso especial —explicó Booth—. Eso era en lo que Bernal estaba interesado, y por eso quería que yo fuera a trabajar con él.» Uno de los miembros del grupo de Bernal era Rosalind Franklin, quien más tarde desempeñaría un papel clave en la determinación de la estructura helicoidal del ADN.

En 1946, Bernal envió a Booth a Estados Unidos para que evaluara el estado de la computación en dicho país. Warren Weaver, que por entonces estaba de nuevo en la Fundación Rockefeller, aceptó patrocinar la visita inicial de Booth y, a continuación, concederle una beca Rockefeller en el laboratorio que él escogiera. Booth hizo la ronda completa, visitando a George Stibitz en los Laboratorios Bell, a Howard Aiken en Harvard, a Jay Forrester en el Laboratorio de Servomecanismos del MIT, el grupo del EDVAC en la Escuela Moore, a Von Neumann y Bigelow en el Instituto de Princeton, y, finalmente, a Eckert y Mauchly en la Electronic Control Company (que se mostraron «completamente hostiles», afirmó). Incluso visitó un centro de computación

basada en ábacos en la sede del Banco de Hong Kong en San Francisco, además de pronunciar toda una serie de conferencias cuyo público abarcó desde los clubes de damas hasta el grupo de investigación de Linus Pauling. También hizo «algunas correrías», entre ellas quedarse «durante un par de noches» con Irving Langmuir, de General Electric, cuyos intereses iban desde la modificación del tiempo hasta la estructura de las proteínas, pero que en aquel momento estaba especialmente emocionado con su nuevo invento, el triturador de basuras, que él llamaba el «cerdo eléctrico». Le hizo a Booth una demostración del dispositivo. «Yo acababa de comerme un plátano —contó Booth—, y solo arrojé la piel dentro. Se produjo un horrible crujido y aquella cosa se quedó completamente atascada. Así que terminé con aquel premio Nobel arrastrándose boca abajo por el suelo, desmontando la parte inferior de aquel artilugio para sacar la piel de plátano.» [\[353\]](#)

«Entonces volví a Nueva York y me reuní con Weaver —recordaba Booth—. El me preguntó: “¿Qué quiere hacer?”. Para entonces yo ya lo tenía bastante claro, y le contesté: “Bueno, el único grupo del que vale la pena hablar es la gente de Princeton”. Ellos eran los únicos que realmente habían salido de la rueda de limitarse a agitar las manos en el aire y no hacer nada.» [\[354\]](#)

La máquina de Von Neumann revolucionaría las matemáticas, y, para Booth, cualesquiera objeciones planteadas por los matemáticos puros del Instituto eran evidencias que apoyaban el planteamiento de Bigelow. Familiarizado tanto con la máquina analítica de Charles Babbage como con la máquina universal de Turing, Booth veía el proyecto del IAS como la aplicación práctica de esas ideas. Posteriormente, el Consejo Nacional de Investigación le pediría a Booth, que conocía a Turing de Cambridge, que revisara algunos de los circuitos que este había diseñado para la ACE (Automatic Computing Engine, «Máquina de Computación Automática»), que estaba siendo construida en el Laboratorio Nacional de Física de Londres. «Eran increíblemente complicados —explicó—, y para cada uno de aquellos circuitos dibujé uno equivalente de la manera en que yo lo habría diseñado. Además,

sus componentes costaban alrededor de una cuarta parte. Creo que algunos de los de Turing no habrían funcionado.» [\[355\]](#)

El planteamiento de Bigelow era minimalista. «El principio fijo de Julian era que tenías que construir las cosas sin condensadores —señaló Booth—. Si tienes condensadores, tienes una velocidad límite. Cuando no tienes condensadores, si le suministras la suficiente corriente, puedes conseguir la velocidad que quieras.» [\[356\]](#) La velocidad del ordenador del IAS también se podía ralentizar y, cuando se depuraran programas, incluso «escalonar», ejecutando una instrucción cada vez. Gran parte de la computación útil se hacía a 8 kilociclos, más o menos a la mitad de su capacidad. No había ninguna «frecuencia de reloj» fija. En cuanto se ejecutaba una instrucción, el ordenador pasaba a la siguiente.

A principios de 1947, Booth zarpó rumbo a Nueva York en el *Queen Mary* acompañado de su ayudante, Kathleen Britten —más tarde autora de uno de los primeros libros de texto sobre programación informática—, que había liderado el trabajo de cálculo de rayos X. El pasaje (y el sueldo) de Britten lo pagaba John Wilson, de la BRPRA, que le reservó un camarote en primera clase. Booth, cuyo pasaje (y cuya beca en el Instituto) lo pagaba la Fundación Rockefeller, tenía reservado billete en tercera. Bernal recibió una queja. «Al final, Johnny [Wilson] puso el dinero para que también yo fuera en primera clase», añadió Booth.

Cuando Booth y Britten llegaron a Princeton, a finales de febrero de 1947, afrontaron la misma cuestión que todos los visitantes del Instituto: dónde podían vivir. «Creo que no habrá ningún problema en hacerse cargo de la señorita Britten además de Booth —le escribió Goldstine a Von Neumann—. La señorita [Bernetta] Miller está intentando contratar al ama de llaves de la señorita [Hetty] Goldman para mudarse a uno de los apartamentos y organizar las comidas. En ese caso, presumiblemente tanto Booth como la señorita Britten podrían mudarse allí con el ama de llaves de la señorita Goldman y observar todas las convenciones sociales necesarias.» Booth y

Britten —que se casarían en 1950, «después de que Kathleen hubiera obtenido su doctorado en aerodinámica transónica»— se contarían entre el primer grupo de visitantes del Instituto que se establecieron en el nuevo complejo residencial construido en Olden Lañe, enfrente de Fuld Hall. [\[357\]](#)

En marzo de 1946, Veblen había propuesto construir alojamientos de emergencia para el personal del proyecto de ordenador. «Los profesores Panofsky y Morse no estaban a favor de dicha propuesta —informaban las actas—. No juzgaban prudente que el Instituto desviara fondos para un proyecto de esa índole en beneficio casi exclusivo del grupo de computación.» [\[358\]](#) En junio de 1946, cuando los ingenieros empezaron a presentarse en sus puestos de trabajo, la situación se agravó. Los nuevos contratados se vieron obligados a ir y venir desde lugares tan alejados como Filadema y Nueva York. «La mejor solución sería alquilar un bloque de apartamentos de la New York Life Insurance Company —informó Aydelotte en una reunión de emergencia de los administradores—. Sin embargo, la New York Life se ha mostrado vacilante a la hora de arrendar esos apartamentos al Instituto, y el doctor Aydelotte sospecha que prefieren no alquilarlos a judíos, aunque no hayan dicho nada en ese sentido. El comité decidió enviar a la New York Life una lista provisional de inquilinos, en la que se incluiría a judíos, pero no a hindúes ni chinos.» [\[359\]](#)

Este planteamiento fracasó, y en última instancia se lanzó una campaña pidiendo ayuda a la comunidad circundante. La Escuela Lawrenceville —a cuyo director «le gustó la idea de que aquellos hombres se mezclaran con los muchachos, pronunció discursos en la capilla, etc.»— aceptó hacerse cargo de dos o tres eruditos del Instituto, mientras que una granja de pollos situada cerca de Rosedale ofreció cuatro apartamentos con calefacción central, «especialmente adecuados para parejas con hijos». Marston Morse propuso que, «como último recurso, se pusieran catres en algunas de las salas de Fuld Hall». A finales de 1946 todavía había una familia de cuatro miembros acampada al aire libre en los terrenos de Fuld Hall. [\[360\]](#)

El mayor avance se produjo en agosto de 1946, cuando se pusieron a la venta un grupo de casas de apartamentos con estructura de madera, construidas durante la guerra para albergar a los numerosos trabajadores de las minas de hierro de la Republic Steel Company en Mineville, en el norte del estado de Nueva York. «El mismo día envié a Mineville a un ingeniero, el señor Bigelow, del proyecto del ordenador —informó Aydelotte a los administradores—. Allí encontró a representantes de otras dos universidades ansiosos por conseguir las casas disponibles. Gracias a la iniciativa del señor Bigelow, pudimos comprar once edificios, que contienen treinta y ocho apartamentos de dos y tres dormitorios cada uno. Dichos apartamentos están sólidamente contruidos, tienen suelos de madera dura, están aislados con lana de roca para hacer frente a los inviernos de los [montes] Adirondack, y están equipados con contraventanas, mosquiteras, cuerdas de tender la ropa y contenedores para la basura.» [\[361\]](#)

Solo había un problema: Mineville y Princeton estaban a 480 kilómetros de distancia. Bajo la supervisión de Bigelow, los edificios fueron desmontados en secciones, transportados en ferrocarril a Princeton y vueltos a montar, con cimientos de hormigón, en los terrenos del Instituto, entre el campo de golf de Springdale y Fuld Hall. El proyecto íntegro se completó en enero de 1947, con un coste de 30.000 dólares por las casas y de 212.693,06 dólares por la preparación del terreno y el traslado, pese a las quejas de los vecinos más cercanos de Princeton, que intentaron parar el proyecto «debido a sus efectos perjudiciales para el área residencial de moda que va a invadir». [\[362\]](#)

Las casas de Mineville fueron construidas en el mismo estilo, propio del período bélico, que las viviendas del gobierno en Los Alamos, y algunas de las personas que durante la guerra se habían alojado en el complejo de viviendas de Los Alamos, bajo la dirección de Oppenheimer, se encontraron ahora en la posguerra viviendo en el complejo de viviendas del Instituto y bajo la dirección de Oppenheimer nuevamente. En febrero de 1947 había ya diecisiete familias, incluidos los Bigelow, instaladas en los nuevos

apartamentos, y seguían llegando más. «Desde que estamos aquí —informaba Bigelow a Aydelotte—, hemos llegado a conocer bastante bien a muchos de nuestros vecinos, no solo a los que trabajan en matemáticas y en física, con quienes tenemos mucho en común, sino que además, lo que a menudo resulta más estimulante, hemos conocido a gente que trabaja en otros campos, con experiencias y perspectivas distintas de las nuestras.»

[\[363\]](#)

En abril de 1947, el Instituto pagó a Bigelow unos honorarios de 1.000 dólares por sus esfuerzos, y en septiembre Bernetta Miller informaba de que «ahora hay treinta y pico niños, y vendrán más», mientras que los «inquilinos están contentos por la perspectiva de que empiece a crecer la hierba». Las reuniones informales entre los habitantes de las casas de Mineville no tardaron en convertirse en parte de la vida del Instituto. «Teníamos tendencia a reunirnos por las tardes, y llegamos a conocernos muy bien», recordaba Morris Rubinoff, perteneciente al segundo contingente de ingenieros que llegaron en junio de 1948. [\[364\]](#)

«Julian y Mary eran el alma del complejo de viviendas —rememoró Freeman Dyson, que también llegó en 1948—. Si tenías cualquier problema personal acudías a Mary. Ella te daba lo que necesitabas: apoyo moral, buenos consejos y, simplemente, la cordialidad de su carácter. Y si tenías problemas prácticos, un coche que necesitaba una reparación, o una rata en el sótano, o dificultades para conseguir que el horno de carbón funcionara o que no lo hiciera en exceso, Julian siempre era capaz de arreglarlo. Aquellos fueron años maravillosos.» [\[365\]](#)

Con la crisis del alojamiento solucionada y el edificio del ordenador completado, los ingenieros pudieron empezar a construir la máquina —junto con sus fuentes de alimentación y su equipamiento de refrigeración— en lugar de trabajar componente por componente. El edificio del ordenador era adyacente al complejo de viviendas, y, según explicó Rubinoff, «podías ir a trabajar, irte a casa a comer y volver a trabajar en menos tiempo de lo que

tardarías en hacerlo en otra parte». Era una segunda edición de Los Álamos. «Trabajaban hasta las ocho o las nueve, se iban a cenar durante dos horas y luego volvían a trabajar de nuevo —recordaba Thelma Estrin, una ingeniera electrotécnica que llegó en junio de 1950 junto con su marido, el ingeniero Gerald Estrin, en pleno esfuerzo final para terminar la máquina—. A veces trabajaban durante toda la noche.» [\[366\]](#)

«Yo acababa de terminar mi doctorado —añadió Gerald—. Nunca había oído hablar de un ordenador; no sabía nada al respecto»; pero, mientras buscaba trabajo, le dijeron que «en el Instituto de Estudios Avanzados hay un proyecto interesante en marcha». Von Neumann invitó a los Estrin a que efectuaran una visita, y los contrató en el acto. «A Von Neumann le gustaba estar en el meollo —dijo Gerald—. Nos apeamos en los terrenos [del Instituto] y nos enamoramos del lugar. Había letreros en la hierba, diminutos, que rezaban: “Se ruega no pisar el césped”.» Los Estrin pasaron los tres años siguientes en el Instituto antes de trasladarse a Israel para construir una copia de la máquina del I AS. «Fueron años muy densos. Al estar en un grupo tan pequeño, realmente aprendí sobre todas y cada una de las partes del ordenador, ayudando en todo lo que podía.» [\[367\]](#)

En una época en que la mayoría de los microprocesadores necesitan solo un único voltaje —de entre 1 y 5 voltios—, resulta difícil comprender cuántos voltajes distintos requería hacer funcionar un ordenador de tubos de vacío. Había siete ramales principales que partían de las líneas eléctricas trifásicas de 120 voltios que entraban en el edificio. Primero había tres circuitos de bifurcación que suministraban corriente trifásica a los filamentos calentadores de los tubos de vacío: unos 6,5 kW a la unidad aritmética y 1,5 kW a la memoria. En segundo lugar, se suministraba corriente continua al núcleo del ordenador a través de cuatro rectificadores distintos, subdivididos a su vez en 26 voltajes diferentes que iban desde los —300 a los +380 voltios. Por último, los circuitos de deflexión de tubo Williams requerían una corriente regulada de 1.075, 1.220 y 1.306 voltios. Una corriente útil en un

circuito podía causar fácilmente ruido en otra parte, por no mencionar el ruido introducido por los transientes en las líneas eléctricas entrantes. Al principio había tantos problemas con el ruido en las fuentes de alimentación de corriente continua que hubo que construir una caseta de baterías de 300 voltios y 180 amperios/hora fuera del edificio del ordenador a fin de suministrar corriente continua «limpia» hasta que se encontrara el modo de proteger mejor la memoria y se diseñaran fuentes de alimentación más estables.

Pero ninguno de estos voltajes significaba nada sin una referencia común o «tierra». Esto llevó a un punto de referencia conocido, brevemente, como «tierra de Rosenberg». «Habíamos desarrollado la máquina en dos secciones —explicó James Pomerene—, y en algún punto, a causa de algo que ya no recuerdo, cuando fuimos a unirlos nos encontramos con que lo que yo llamaba “tierra” en mi diseño estaba a un nivel de voltaje distinto de lo que Rosenberg llamaba “tierra” en el suyo. De modo que durante un tiempo tuvimos baterías que realizaban el ajuste entre mi tierra y la de Rosenberg.»

[\[368\]](#)

El ordenador estaba integrado por cuatro unidades u «órganos»: el de entrada-salida, el aritmético, el de memoria y el de control. La elección del tipo de memoria afectaba al diseño, pero, aun así, fue el último elemento en ser resuelto. «Una vez que se ha decidido la forma de la memoria de alta velocidad, la mayoría de los otros componentes de un ordenador electrónico se vuelven semiinvariables», observaban Booth y Britten en su informe sobre su estancia en el IAS. [\[369\]](#) El esperado tubo de memoria Selectrón íntegramente digital de RCA, aunque todavía inexistente, fue especificado con la suficiente precisión como para que el resto del ordenador pudiera ser diseñado partiendo de la base de que en su momento se dispondría de un tubo de memoria fácil de conectar al resto de la máquina.

A medio camino en cuanto a complejidad entre los componentes que trabajaban a nivel de bits, como los conmutadores de cambio de estado 6J6,

y los mencionados órganos que trabajaban a nivel de sistema, estaban los registros de desplazamiento que almacenaban, transferían e intercambiaban datos, en paralelo, de cuarenta en cuarenta bits. Un registro conocido como acumulador proporcionaba acceso a la memoria desde la unidad aritmética, mientras que el registro de memoria proporcionaba una salida desde la memoria en sentido inverso, de manera análoga a la separación de las válvulas de admisión y escape en cada cilindro del motor de un coche.

Todos estos registros eran de «doble hilera», es decir, que contenían dos filas paralelas de conmutadores de cambio de estado 6J6, cuya entrada y salida se controlaban por medio de dos filas adicionales de puertas. Esta redundancia evitaba la pérdida de bits en tránsito; todos los datos se duplicaban en el destino antes de ser borrados del origen, de la misma manera que la transmisión de un paquete de datos a través de internet no se considera completa hasta que dicho paquete señala que ha llegado intacto.

Los registros de desplazamiento, tal como demostrara Leibniz 260 años antes, podían realizar aritmética binaria simplemente desplazando toda una fila de dígitos binarios una posición a la derecha o a la izquierda. Los datos nunca se transferían directamente entre conmutadores de cambio de estado adyacentes; lejos de ello, el estado de cada conmutador individual se duplicaba hacia arriba en un registro temporal, luego se borraba el registro inferior y entonces, y solo entonces, se desplazaban los datos, en diagonal, de nuevo al registro original. No había ningún límite mínimo a lo despacio que podía ejecutar el ordenador una secuencia de instrucciones de manera escalonada. A diferencia de las disciplinadas bolitas físicas que Leibniz concibiera desplazándose de una columna a otra en 1679, los electrones siempre buscaban una vía de escape.

«La información primero era bloqueada en el conmutador emisor; luego, a través de una puerta, se hacía común tanto al emisor como al receptor, y luego, cuando estaba segura en ambos, podía borrarse del emisor —explicó Bigelow—. La información nunca era “volátil” en tránsito; estaba tan segura

como un insecto con acrofobia en la copa de una secuoya.» Los datos se manejaban del mismo modo en que los barcos se mueven a través de las esclusas en un canal. «En esa época disfrutamos de algunas interesantes discusiones especulativas con Von Neumann sobre la propagación de la información y la conmutación entre hipotéticas matrices de células — recordaba Bigelow—, y creo que parte del germen de sus posteriores estudios sobre autómatas celulares podría haberse originado aquí.» [\[370\]](#)

«No movíamos información de un lugar a otro excepto de un modo positivo —subrayó James Pomerene—. Hoy eso es algo que se utiliza a escala absolutamente universal. Creo que nosotros fuimos los primeros en hacerlo. Y lamento que no lo patentáramos.» Por entonces se generaban inventos patentables a diestro y siniestro. «El acuerdo original de patentes disponía que el titular de las patentes sería el Instituto, pero que este pagaría al inventor todos los *royalties* que excedieran de sus gastos —añadió Pomerene—. ¡Muy bonito!» Sin embargo, nunca se solicitó patente alguna. «Éramos unos ingenieros jóvenes e impacientes. Estábamos más interesados en hacer funcionar la máquina que en solicitar patentes», explicó. [\[371\]](#)

En abril de 1946, Von Neumann elaboró una política de patentes que «adopta una razonable posición intermedia entre dejárselo todo al empleado o quedárselo todo para el Instituto». Los empleados aceptaban ceder sus derechos al Instituto, mientras que este convenía en que «se encargará de preparar, presentar y gestionar, puntualmente y sin coste alguno para el empleado, una solicitud de Patente de Invención en Estados Unidos (y para patentes en otros países fuera de Estados Unidos, si así se decide) para cada invento que el Instituto determine que es lo que puede serle útil». Asimismo, «el Instituto acuerda pagar al empleado todos los *royalties* recibidos, en caso de haberlos... sobre cada invento... aparte del coste total para el Instituto de obtener la patente o de su consiguiente solicitud». [\[372\]](#)

La medida fue recibida con entusiasmo por los ingenieros. El Instituto contrató a un abogado especializado en patentes, cuya evaluación fue que el

proyecto ofrecía una rica variedad de inventos patentables, y eso que todavía no se había construido la máquina. «De haberlo pedido, el Instituto de Estudios Avanzados podría haber obtenido una cesión de cada ingeniero y generado una gran dotación en comparación con lo que tienen ahora», afirmó Bigelow. Sin embargo, habría costado una cantidad de dinero significativa asegurar, y no digamos ya defender, aquellas patentes; un planteamiento que el Instituto no estaba dispuesto a adoptar. Al fin y al cabo, había sido Abraham Flexner quien había anunciado en 1933, en la fundación del Instituto, que «en el momento en que la investigación se utiliza como fuente de beneficios, su espíritu se degrada». [\[373\]](#)

A mediados de 1947, el acuerdo de patentes original se vio debilitado, de manera unilateral, por la decisión de ceder la mayoría de los derechos de patente al gobierno estadounidense. «Para los probablemente pocos desarrollos excepcionales que den lugar a aplicaciones comerciales sumamente valiosas —tranquilizó Goldstine a los ingenieros el 6 de junio—, los responsables de ingeniería recomendarán al director del Instituto que la entidad gestione directamente una solicitud.» Se trataba de una vana promesa, puesto que Goldstine ya había aceptado, en una reunión con la Oficina del Jefe de Armamento del ejército celebrada en abril de 1947, «que cualesquiera documentos o informes que abarquen los aspectos lógicos del ordenador serán considerados publicaciones científicas, y, por lo tanto, resultarán accesibles a todos los científicos interesados». Eso venía a socavar cualquier posible reclamación de patente sobre la mayor parte de los inventos realizados hasta ese momento. «Para evitar cualquier interés comercial en tratar de explotar lo que debe pertenecer a la comunidad científica —aconsejaba Goldstine—, apreciaría que hicieran enviar un ejemplar del informe titulado “Discusión preliminar sobre el diseño lógico de un instrumento de computación electrónico”, de A. W. Burks, Herman H. Goldstine y John von Neumann, fechado el 28 de junio de 1946, a la Oficina de Patentes junto con la petición de que lo traten como una publicación de

hecho.» En junio de 1947, Goldstine, Burks y Von Neumann hicieron una declaración jurada en la que afirmaban que «es nuestra intención y deseo que cualquier material allí contenido que pudiera resultar de naturaleza patentable pase a ser de dominio público». [\[374\]](#)

A los ingenieros se les dejó, pues, prácticamente sin opciones. «Creo que en el otoño de 1948 hubo una reunión de ingenieros —recordaba Bigelow— en la que nos dijeron que el segundo contrato no nos permitiría tener la misma cláusula de patente que el primero. Y yo dije: “En mi opinión, estamos renunciando a algo muy valioso. Por otra parte, personalmente en este momento no puedo resolverme a declararme en huelga contra Johnny. Pero quiero que entiendan a qué estamos renunciando”. Y la votación fue básicamente: “Seguimos adelante”. [\[375\]](#)

»La gente que trabajaba con Von Neumann sentía un respeto tan enorme por él y una gratitud tan enorme por que se les permitiera ser una de las personas que iban a construir esa máquina —prosiguió Bigelow—, que nunca defendimos nuestros derechos con demasiada fuerza. Lo segundo que ocurrió, y que entonces yo no sabía, es que Von Neumann comenzó a trabajar como consultor para IBM.» [\[376\]](#) Todos los detalles técnicos del MANIAC y su programación se volvieron de dominio público y se reprodujeron libremente en todo el mundo. Se publicaron una serie de informes de progreso que eran modelos de ideas claras y detalles técnicos. «El rasgo más notable de los informes —según el que fuera ayudante de Turing durante la guerra, I. J. Good— era que daban razones lúcidas para cada decisión en cuanto al diseño, un rasgo que raras veces se repetiría en trabajos posteriores.» [\[377\]](#)

«Muchos de los que estamos en curso de fabricar copias de la máquina del IAS tenemos tendencia a acentuar aquello en lo que nos desviamos y a olvidar la enorme deuda que hemos contraído con Julian Bigelow y otras personas del Instituto —escribió William F. Gunning, examinando el desarrollo del JOHNNIAC en PvAND—. Creo que el hecho de que tantos de

nosotros hayamos sido capaces de construir una unidad aritmética que funciona en cuanto se la enchufa y que no requiere complicaciones, es prueba suficiente de la contribución fundamental que ellos han realizado.»

[\[378\]](#)

En julio de 1947 se vio que un prototipo de sumadora de diez fases «funcionaba de manera fiable durante períodos de varios días», realizando un ciclo completo a través de las diez fases en 0,6 microsegundos. En agosto, un registro de desplazamiento de diez fases fue sometido a una prueba de ciclo de vida durante todo el mes, y en febrero de 1948 se hizo funcionar un prototipo de acumulador, «a un ritmo de unas 100.000 sumas por segundo», durante 5.000 millones de operaciones sin un solo error. [\[379\]](#)

El ordenador requería algún medio de cargar datos (y programas) en la memoria, y de comunicar los resultados. En 1946, el cable magnético era el medio de grabación por excelencia. El equipo de Bigelow pasó varios meses montando y depurando una unidad de cable de alta velocidad que enrollaba y desenrollaba un cable grabador de acero a una velocidad de hasta 30 metros (o 90.000 bits) por segundo de un par de ruedas de bicicleta, acopladas diferencialmente una al lado de otra sobre un único motor concéntrico. Las dos ruedas podían quitarse e insertarse como una sola unidad, tal como sucede actualmente con un cartucho de cinta o un disco extraíble. Los datos y programas se perforaban en cinta de teletipo de papel, se verificaban y luego se transferían al cable grabador, desde donde podían cargarse a alta velocidad en la memoria cuando se necesitaran. «Aunque esta operación humano-teclado-mecanográfica es esencialmente lenta y concienzuda, resulta completamente independiente de la máquina propiamente dicha —se señalaba en el primer informe de progreso intermedio—, y cualquier cantidad de equipos de codificación estrecha o remotamente situados en relación con la máquina pueden estar formulando problemas mientras la máquina resuelve los codificados anteriormente.» Von Neumann imaginaba un grupo de computación capaz de «trabajar

directamente hacia y desde una máquina que esté situada en otra parte, posiblemente a cientos o miles de kilómetros de distancia», tal como se lo describiría a Roger Revelle, de la Oficina de Investigación Naval. [\[380\]](#)

«Ahora es posible mecanografiar un mensaje numérico, transferirlo al cable magnético junto con todos los impulsos de marcado y de indexado asociados, leerlo en un registro de desplazamiento después de borrar los impulsos de marcado y de indexado, y luego invertir todo el proceso y crear de nuevo una copia mecanografiada del mensaje», se informaba en marzo de 1948. [\[381\]](#) Aunque a la larga se pudo hacer funcionar la unidad de cable de alta velocidad sin roturas durante períodos de hasta tres semanas de duración, finalmente se abandonó en favor de un sistema de entrada-salida más fiable, aunque más lento, que funcionaba directamente con cinta de teletipo estándar de cinco agujeros. Gran parte de lo aprendido al montar la unidad de cable se aplicó posteriormente a un tambor magnético auxiliar de 2.048 palabras, equivalente a una unidad de cable de 40 canales que hiciera pasar bucles fijos de cable a través de unos cabezales de lectura/escritura independientes.

El sistema de entrada-salida a base de cinta de teletipo fue reemplazado a su vez por equipamiento de tarjetas perforadas de IBM, después de obtener la autorización especial de dicha empresa para modificar su equipamiento. Hewitt Crane rehízo los circuitos de una perforadora reproductora IBM 516 para que leyera 80 columnas en paralelo en lugar de solo una columna de 12 bits a la vez. Esta modificación pronto sería adoptada por la propia IBM, precipitando una nueva etapa en la industria del procesamiento de información caracterizada por el paso de los caracteres alfanuméricos a las líneas de código. La memoria entera, de 1.024 palabras, podía cargarse en menos de un minuto y descargarse en dos.

En abril se puso en marcha un prototipo de multiplicador binario de ocho fases que hacía 70.000 multiplicaciones por segundo. «Ha realizado alrededor de 10^{10} de tales operaciones y parece fiable», señalaba el informe

oficial, mientras que Oppenheimer informaba extraoficialmente a los administradores de que «el Computador Electrónico ahora multiplica». Rosenberg diseñó una serie de cálculos de prueba en los que «repetitivas multiplicaciones sin error producirán una pauta estacionaria de dígitos», de modo que pudiera verse de inmediato si la unidad aritmética funcionaba o no. [\[382\]](#)

«Tal como la máquina hacía la multiplicación, si partías del conjunto de números adecuado en los registros, haría la multiplicación y daría el mismo conjunto de tres números en los registros —explicó Ware—. De pronto observamos que la pauta de luz en los tubos de neón era constante. Herman se emocionó mucho con ello. Salió corriendo por el pasillo, y él y Johnny... no sé cuánto tiempo pasaron calculando cómo escogerlos tres números adecuados... Mientras tanto, ¡Pomerene y yo encontrábamos esos números experimentalmente tan rápido como lo que se tardaba en escribirlos!» [\[383\]](#)

Pronto se completaron tres registros de desplazamiento de cuarenta fases, que fueron «interconectados en dos distribuciones distintas para formar bucles cerrados de 120 dígitos binarios y desplazados una posición cada vez a lo largo del bucle» a una velocidad de 3 microsegundos por desplazamiento. La prueba se realizó durante cien horas, para un total de $10^{[11]}$ desplazamientos. [\[384\]](#) Todas las piezas requeridas, excepto la memoria, iban encajando en su lugar.

Al principio parecía que el grupo de Rajchman en la RCA iba por delante del grupo de Bigelow en el IAS. «Acabo de volver de ver a Jan, que se ha mostrado bastante alentador —le informó Goldstine a Von Neumann a principios de julio de 1947—. Nos promete un Selectrón de 256 dígitos de tipo cuadrado, es decir, de cuatro cátodos, en unas dos semanas; no sé qué haremos con él cuando lo tengamos.» [\[385\]](#) A finales de mes Goldstine realizó otra visita a la RCA, aunque solo para encontrar más problemas nuevos que tubos de memoria nuevos. Von Neumann, siempre fiel a la teoría de juegos, decidió apostar a lo seguro. Si todo lo demás fallaba, se creía que el

ordenador se podría hacer funcionar (aunque reduciendo la velocidad a una centésima parte) acoplando las unidades aritmética y de control directamente al tambor magnético de cuarenta canales.

En la primavera de 1948, Douglas Hartree llegó de Inglaterra con información —de palabra, y por escrito en un informe preliminar entregado en mano a Goldstine— de los pioneros británicos del radar Frederic C. Williams y Tom Kilburn, quienes, con la ayuda de Alan Turing y Max Newman, estaban construyendo un prototipo de ordenador digital de programa almacenado en la Universidad de Manchester, basado en parte en el informe del EDVAC. En lugar de líneas de retardo acústico, estaban desarrollando una nueva forma de almacenamiento, que pronto pasaría a conocerse como el «tubo Williams», utilizando «la distribución de carga creada en la pantalla fluorescente de un tubo de rayos catódicos normal y corriente cuando esta es barrida por un haz de electrones debidamente modulado». [\[386\]](#) Los puntos cargados de la pantalla del tubo podían preservarse durante breves períodos de tiempo, del mismo modo en que la electricidad estática permanece durante unos segundos después de apagar un tubo de rayos catódicos de un televisor.

El tubo de almacenamiento de Williams funcionaba como el iconoscopio de Zworykin, pero al revés: leyendo un patrón de carga eléctrica rastreado por un haz de electrones interno en lugar de un patrón de carga eléctrica formado por una imagen desde fuera del tubo. «En la práctica, dicho tubo no es más que una miríada de condensadores eléctricos que pueden conectarse al circuito por medio de un haz de electrones», habían señalado Burks, Goldstine y Von Neumann —antes de la puesta en práctica de la idea por parte de Williams y Kilburn— en su informe preliminar de junio de 1946. Williams y Kilburn, que habían colaborado con los estadounidenses en el radar (y en el sistema IFF) durante la guerra, tuvieron buen cuidado de reconocer sus fuentes. «El descubrimiento experimental de que dichos tubos exhiben fenómenos de almacenamiento parece que se realizó en el

Laboratorio de Radiación de Boston hacia el final de la guerra», escribieron. [\[387\]](#)

Williams y Kilburn lograron almacenar una matriz de 32 por 32 puntos cargados en la pantalla de un solo tubo de rayos catódicos. Los datos eran almacenados y recuperados en serie, de manera similar a una línea de retardo acústico, pero a la velocidad de los electrones en lugar de a la del sonido; y había que rastrear de nuevo toda la matriz entera para recordar el estado de cualquier punto individual. Lograron almacenar datos sin errores durante varias horas cada vez, y señalaron en su informe que «si la memoria hubiera sido imperfecta hay alrededor de 10^{360} patrones alternativos posibles, cualquiera de los cuales podría haberse mostrado al final del período de almacenamiento. A modo de comparación, se dice que hay solo 10^{74} electrones en el universo». [\[388\]](#)

Para Williams y Kilburn, «la mejor forma de poner a prueba globalmente el almacenamiento sería la construcción de una pequeña máquina». La máquina resultante, la SSEM (Small-Scale Experimental Machine, «Máquina Experimental a Pequeña Escala»), tenía un solo almacenamiento de tubo de rayos catódicos de 32 por 32 bits, y no podía hacer otra cosa que restar; sin embargo, fue suficiente para establecer que, «en principio, una máquina universal podría basarse en un almacenamiento de CRT». [\[389\]](#) Un período de funcionamiento de 52 minutos ejecutaba 3,5 millones de instrucciones, generadas por 17 líneas de código.

Las noticias de Manchester electrizaron al grupo de Princeton. Bigelow fue enviado a Inglaterra mientras Pomerene comenzaba el trabajo experimental. El 18 de julio, Williams y Kilburn recibieron a Bigelow en su primitivo laboratorio. «Mientras estaba allí y observaba su máquina, una parte empezó a quemarse debido a que estaba construida de forma bastante chapucera, pero eso no le preocupó en absoluto —recordaba Bigelow—. Simplemente extrajo algunos contactos y dijo: “Esto no está bien”. Cogió un soldador, sacó una pieza, colocó algunas otras al lado, luego volvió a poner los

contactos en su sitio y la puso en marcha de nuevo.» [\[390\]](#) Un problema más serio era la interferencia electromagnética de una línea de tranvía eléctrico que pasaba cerca, a pesar de que los tubos de rayos catódicos estaban protegidos dentro de una caja metálica.

«La rutina de muestra con la que me hicieron la demostración formaba parte de un código sobre números [primos] de Mersenne, que [la máquina] ejecutó dos veces, primero con un error y luego correctamente —informó Bigelow—. Aquel fragmento de rutina consumió tres o cuatro minutos; Max Newman (que estaba presente) y yo calculamos que el número de operaciones realizadas era del orden de muchos miles.» [\[391\]](#) Bigelow regresó a Nueva York unos días después a bordo del *Parthia*, un transatlántico de la compañía Cunard, y cuando llegó a Princeton, Pomerene tenía una memoria de tubo de rayos catódicos operativa de 16 bits, que después de otras cuatro semanas se ampliaría a 256 bits.

En lugar de verse obligado a esperar a que se materializara el Selectrón y terminar con una máquina cuya memoria principal fuera exclusiva de la RCA, el planteamiento de Williams permitió al equipo del I AS ponerse a trabajar de inmediato usando tubos osciloscopios baratos de los que disponía fácilmente, dejando toda la innovación fuera de los tubos. «El problema era íntegramente de diseño y construcción de circuitos, ámbitos en los que nos considerábamos competentes», explicó Bigelow. [\[392\]](#)

Williams y Kilburn habían demostrado cómo una secuencia de impulsos (en el tiempo) podía convertirse en un patrón de puntos (en el espacio) y almacenarse indefinidamente mientras dicho patrón se regeneraba periódicamente mediante el barrido de un haz de electrones. Los puntos se cargaban positivamente (es decir, se volvían deficitarios en electrones) como resultado de la emisión de electrones secundaria del fósforo, de modo que podía distinguirse el estado de un punto individual «interrogando» a esa posición mediante un breve impulso (o «tirón») de electrones y anotando el carácter de una débil corriente secundaria, de menos de un milivoltio,

inducida en una pantalla de alambre anexa a la cara exterior del tubo. «Así, el fósforo que contiene las diversas distribuciones de carga se acopla de forma capacitiva a la pantalla de alambre —explicaba el equipo del IAS—, y entonces resulta posible, enfocando el haz sobre un punto dado, producir una señal en la pantalla de alambre.» [\[393\]](#)

El efecto de emisión secundaria puede visualizarse imaginando una matriz de 32 por 32 vasos de cerveza colocados dentro en un gran fregadero y rociados con agua con una manguera de jardín, y con un desagüe muy sensible en el fregadero que produce una señal perceptible cuando se derrama algo de agua. Los vasos tienden a llenarse de agua, pero, si dirigimos la manguera a un vaso concreto durante un instante, ese vaso se vacía parcialmente debido a que derramamos parte del agua fuera de él. Hemos escrito un bit de información en esa posición, y, al volver a ella con otro chorro de agua y tomar nota de si parte de esta se derrama o no, podemos leer el estado de ese bit concreto. Entonces podemos, o bien refrescar ese estado y seguir almacenando el bit de información, o bien borrarlo y sustituirlo por el estado alternativo.

El equipo de Pomerene desarrolló circuitos de sincronización y control que gobernaban los voltajes de deflexión del haz de electrones con la suficiente precisión como para permitir el acceso a cualquier posición en cualquier momento, reservando unos pocos microsegundos antes de reanudar los ciclos de barrido/refrescamiento normales donde se habían quedado. El resultado era una matriz de condensadores de 32 por 32 electrónicamente conmutada, con un tiempo de acceso de 24 microsegundos, pero que resultaba ser, como destacaba Bigelow, «uno de los detectores más sensibles de perturbaciones electromagnéticas ambientales de toda [la historia de] la humanidad». Se introducían errores debidos a campos de tan solo 0,005 gauss, o, lo que es lo mismo, de una cuadragésima parte (‰) de la fuerza del campo magnético terrestre. «El experimento confirmó que un campo magnético de una corriente alterna de aproximadamente la fuerza del

campo terrestre, 0,2 gauss, producirá en un tubo Williams una deflexión del haz de aproximadamente 12 diámetros de punto», lo suficiente para convertir cualquier memoria en un completo desperdicio, según se informaba en agosto de 1949. [\[394\]](#)

La capacidad de distinguir un «punto» (0) de una «raya» (1) dependía de las características de la emisión secundaria de la capa de fósforo, y la más ligera imperfección, o la presencia de una mota de polvo dentro del tubo, haría que la memoria fallara. La señal se amplificaba 30.000 veces antes de ser transmitida a un discriminador que se encargaba de decidir si la forma de onda representaba un 0 o un 1. «Las señales se reducían al nivel del ruido, creo que el nivel de energía era de un microvatio, y ese era un problema difícil —recordaba Rosenberg—, pero finalmente conseguí los amplificadores, que fueron instalados directamente junto a los tubos de memoria dentro de las protecciones y depurados.» Colocar amplificadores individuales en cada tubo de memoria era algo que iba en sintonía con la máxima número 5 para Pronosticadores Ideales de Bigelow, que estipulaba que «si en algún momento hay que filtrar el ruido de la señal, ello debe hacerse en la fase más temprana posible». [\[395\]](#)

Los cuarenta tubos de memoria tenían que trabajar perfectamente al mismo tiempo, dado que a cada dígito de una palabra de 40 bits se le asignaba la misma posición en un tubo Williams distinto. Los 1.024 bits de cada cilindro eran visibles a simple vista, oscilando de un ciclo de máquina al siguiente, o congelándose en el tiempo cuando un proceso se pausaba o se detenía. Lo que observaba el operador era el universo digital, no la visualización de un proceso que ocurría en otra parte. Sin embargo, el observador también debía tener cuidado de no perturbar el estado de la memoria que observaba. «La parte frontal [del tubo] llevaba incorporado un trozo de gasa de cobre —explicó Morris Rubinoff—, y, cuando querías observar, mirabas los puntos de luz a través de la gasa de cobre solo para asegurarte de que todo estaba completamente protegido.» [\[396\]](#)

En los ordenadores modernos (o los que antaño lo fueron), un tubo de rayos catódicos muestra el estado de una memoria intermedia temporal cuyo contenido es generado por la unidad central de procesamiento (o CPU, por sus siglas en inglés). En el MANIAC, sin embargo, los tubos de rayos catódicos eran la memoria principal, que almacenaba las instrucciones que guiaban las operaciones de la CPU. El uso de una pantalla de visualización para la memoria fue una de esas adaptaciones discontinuas de características preexistentes para fines imprevistos mediante las que la evolución da sus saltos hacia delante.

Posteriormente se añadió una cuadragésimo primera fase de monitorización, que podía conmutarse para reflejar cualquiera de las cuarenta fases de memoria, permitiendo al operador inspeccionar el contenido de la memoria de forma remota para comprobar el progreso de un determinado cómputo, o para averiguar por qué se había detenido. Más tarde esta se incrementó con un tubo de rayos catódicos independiente de 18 centímetros que actuaba como una pantalla gráfica de 7.000 puntos por segundo. «Este dispositivo toma los datos existentes en uno de los registros de la máquina y traduce su representación binaria en el registro en una representación de amplitud en la deflexión del punto del osciloscopio», informaban los ingenieros en 1948.

[\[397\]](#)

El grupo del IAS optó por tubos osciloscopios estándar 5CP1A de 13 centímetros, disponibles en grandes cantidades, aunque menos del 20 por ciento resultaron aceptables y en 1953 se informó de que «no se habían encontrado más que diez tubos libres de defectos en las pruebas con más de mil tubos realizadas en este laboratorio durante los tres últimos años». [\[398\]](#)

Los fabricantes permitieron al IAS examinar su inventario en busca de unidades sin defectos y devolver el resto. Pomerene logró realizar una prueba de treinta y cuatro horas sin errores con una memoria de dos fases los días 28 y 29 de julio de 1949, y a continuación se inició la carrera final para construir una memoria de cuarenta fases que funcionara. El acceso a la

memoria en paralelo haría que el ordenador fuera cuarenta veces más rápido que un procesador en serie, pero, en opinión de numerosos escépticos, sería improbable trabajar sin que una cosa u otra fuera siempre mal.

«Descubrimos, un poco a pesar nuestro —cuenta Pomerene—, que una propiedad que tiene una memoria, y que no tienen otros circuitos de tubos de vacío, ¡es que recuerda! ¡Menuda sorpresa! Pero es que, entre otras cosas, recuerda cualquier ruido que se haya producido. ¿Vale? De modo que está ahí, y tú estás esperando que recuerde un uno, y aparece un ruido y pasa de uno a cero, y se queda en cero porque ahora está recordando un cero. Así que una memoria resultaba ser un observador de ruido muy eficaz.» [\[399\]](#)

Había dos fuentes de ruido: el ruido externo, procedente de campos electromagnéticos aislados, y el ruido interno, causado por la fuga de electrones al leer o escribir en puntos adyacentes. Podía establecerse una protección frente a la mayor parte del ruido externo, mientras que el interno se controlaba monitorizando la denominada «relación entre lectura y pérdida de información» de cada tubo individual y tratando de evitar la ejecución de códigos que reincidieran en posiciones de memoria adyacentes con demasiada frecuencia, una inoportuna complicación para los programadores de la época. Los tubos Williams se parecían mucho al viejo Austin de Julian Bigelow. «Funcionaban, pero costaba un horror que siguieran haciéndolo», explicó Bigelow. [\[400\]](#)

Cada tubo de memoria individual tenía su propio cuaderno de bitácora, que registraba su historial de salud y cualesquiera idiosincrasias que surgieran sobre la marcha. La dificultad a la hora de distinguir los problemas de memoria de los problemas de codificación llevó a muchos de aquellos primeros programadores a renunciar asqueados. «La presencia de este elemento leproso en la máquina [significa] que todo el que se siente a formular un problema debe ser consciente de ello y estar preparado para andar con un poco de tiento en función del problema —señalaba Frank

Gruenberger al explicar por qué PvAND escogió, en cambio, la memoria Selectrón—. Las señales ópticas tardan una fracción de segundo en desaparecer, y, si el problema requiere que reutilices un número antes de que la señal óptica se haya regenerado, obtendrás la respuesta incorrecta. Es como si una calculadora de escritorio fallara cada vez que las posiciones séptima, octava y novena de un número de quince dígitos resultaran ser tres dígitos primos... es una indecencia que el operador tenga que preocuparse por cómo está construida la máquina.» [\[401\]](#)

Paralelamente, Rajchman había seguido trabajando en el Selectrón en RCA. El 22 de septiembre de 1948 se hizo ante Bigelow y Goldstine una demostración del primer tubo operativo, con 256 elementos de almacenamiento, y aquellos «parecieron razonablemente impresionados». El segundo tubo estuvo terminado el 1 de octubre de 1948. Solo entonces supo Rajchman que el Selectrón había sido relegado a un segundo plano. «Parece que por fin tenemos el tubo deseado —le informaba Rajchman a Zworykin el 5 de octubre—. Este éxito tiene lugar, sin embargo, en un momento en que el Selectrón tiene que competir con el tubo inglés del profesor Williams. El grupo del Instituto ha empezado a trabajar en él, sin comunicarnos e incluso ocultándonos deliberadamente este hecho, a finales de mayo o comienzos de junio.» Rajchman, que finalmente consiguió una copia del informe de Williams-Kilburn, quedó «de lo más impresionado por su trabajo», admitiendo que, «de una manera típicamente inglesa, ha producido un resultado asombroso con un vulgar tubo de rayos catódicos». [\[402\]](#)

El Selectrón había quedado fuera de la competición. A la larga se producirían un número limitado de tubos de 256 bits, que se revelarían espectacularmente fiables (con una media de 100.000 horas entre fallos) en el JOHNNIAC, construido en RAND inspirándose en el IAS. Pero para entonces IBM había adoptado la memoria de tubo de rayos catódicos en su modelo 701, y la memoria de núcleos magnéticos —inicialmente propuesta por Rajchman, pero comercializada en otra parte— estaba a punto de tomar

la delantera que RCA había abandonado. El Selectrón nunca alcanzó el éxito comercial ni llegó a producirse en masa. ¿Fue este un fracaso? «No más de lo que lo fue el dinosaurio —afirmó Willis Ware—. Ellos hacían cosas dentro de aquel vacío que nunca se habían hecho antes.» [\[403\]](#)

El almacenamiento de alta velocidad era un problema de conmutación, no un problema de memoria. «La dificultad de todos los esquemas de este tipo reside principalmente en el método de conmutación entre el gran número de elementos involucrados —le había escrito Goldstine a Mina Rees, de la Oficina de Investigación Naval—. El quid del problema de la memoria radica no en el desarrollo de un elemento de memoria barato, sino más bien en el desarrollo de un conmutador satisfactorio.» [\[404\]](#) La ventaja de la memoria de tubo Williams —que realizaba la función de conmutación si ninguna parte móvil aparte de la deflexión de un haz de electrones— no fue que resolviera mejor el problema de la conmutación, sino que lo resolviera primero.

El Selectron, que asignaba posiciones de memoria utilizando directamente puertas en lugar de «dirigir un haz de electrones a un lugar determinado, como si fuera una manguera electrónica», proporcionaba, en palabras de Rajchman, «un control digital “matricial” que da una certeza absoluta de que se selecciona la posición deseada, a diferencia de la selección, nunca demasiado segura, realizada por la deflexión analógica de un haz». No solo la conmutación era íntegramente digital, sino que también lo era la salida de datos, y no requería de un «discriminador» de analógico a digital que distinguiera entre un cero y un uno. Como diría Frank Gruenberger, «en el Selectron se selecciona una ranura concreta de la memoria por medios digitales (en lugar de analógicos), y las señales de salida son mil veces mayores que las de los tubos Williams». [\[405\]](#) El Selectron, que solucionaba tanto el problema de la memoria como el de la conmutación, habría abierto un camino mucho más directo al futuro de circuitos integrados de estado sólido que aguardaba al ordenador.

Algunos fracasos son fruto de la falta de visión; otros, de un exceso de ella. «Las ideas eran tan hermosas y tan elegantes que Rajchman siempre intentaba aplicarla [la matriz de almacenamiento] a una población de células mayor de lo que su técnica le habría permitido hacer en aquel momento — contó Bigelow, explicando los retrasos en RCA—. Simplemente, sabía tanto de óptica electrónica que no podía afrontar el hecho de que, si la reducía a algo mucho más modesto y la hacía funcionar, y luego aumentaba el tamaño a partir de ahí, le iría mucho mejor.» [\[406\]](#)

El Selectrón perdió su oportunidad. Una vez que Bigelow y Pomerene supieron cómo convertir tubos osciloscopios baratos y fácilmente disponibles en memoria de acceso aleatorio, el reto de hacerlo era irresistible. La RCA, centrada en la televisión, nunca se tomó el Selectrón en serio y fue incapaz de proporcionar a Rajchman, que en gran parte trabajaba solo, los recursos necesarios para convertirlo en un éxito. El grupo del denominado Proyecto Torbellino del MIT, que desarrollaba un ordenador digital para la defensa aérea, «se gastó algo así como veinticinco millones de dólares solo en tubos de almacenamiento, lo que era casi diez veces el total de nuestro proyecto», señaló Bigelow. [\[407\]](#)

Con la memoria de tubo Williams en funcionamiento, el ordenador comenzó a adoptar su forma física definitiva. El MANIAC era excepcionalmente compacto; «quizá demasiado compacto para un mantenimiento cómodo», admitió Bigelow, que fue en gran parte el responsable de su diseño físico. Se lograba un trayecto de conexión mínimo entre componentes por medio de circunvoluciones en el bastidor, de modo parecido a los pliegues de la corteza cerebral en el cráneo. En 1947 la mayoría de los dispositivos electrónicos se diseñaban en dos dimensiones, con los componentes montados sobre un bastidor plano y el cableado debajo. Lo mismo sigue valiendo actualmente para la mayoría de las placas base, los circuitos integrados y los dispositivos montados sobre un bastidor. Bigelow, en cambio, adoptó un planteamiento tridimensional en la forma de disponer e

interconectar los componentes y de cablear y refrigerar las densas matrices de tubos de vacío. «Todos esos cables que no están cerca de ningún metal, que quedan fuera en el espacio, son cosa de Julian —dijo Willis Ware—. Ese bastidor de forma cóncava, de modo que podías cablear punto a punto y mantener la mínima longitud de cable, todo eso son ideas tuyas.» [\[408\]](#)

«Por desgracia, los tubos de vacío tenían filamentos calentadores, y los cables que suministraban la corriente a dichos calentadores eran siempre un fastidio —explicó James Pomerene—. Siempre estaban en medio, y no tenían nada que ver con la lógica del ordenador.» Los técnicos de Bigelow laminaron placas de chapa de cobre gruesa, apilándolas por duplicado, e introdujeron luego las diferentes tiras entre dos trozos de tablero de fibra aislante, a fin de que toda la corriente de los calentadores pasara a través de dichas tiras. «Con ello se lograba el cableado de los calentadores sin que hubiera ningún cable de por medio, y se conseguía que la máquina fuera significativamente más fácil de construir», señaló Pomerene. [\[409\]](#) Además de permitir una densidad de componentes mucho mayor en el núcleo del ordenador, de ese modo se minimizaba el ruido electrónico y se mejoraba el flujo de refrigeración.

El MANIAC parecía un motor V40 turboalimentado, y medía alrededor de 2 metros de alto, 0,5 de ancho y 2,5 de largo. El ordenador en sí, con un bastidor de aluminio, pesaba menos de media tonelada, lo que venía a ser un «microprocesador» para la época. El «cárter» tenía 20 cilindros a cada lado, cada uno de los cuales contenía, en lugar de un pistón, un tubo de memoria de 1.024 bits. Cada uno de los 40 cilindros, dispuestos en «V» en dos filas paralelas y con un ángulo de 45 grados, contenía un tubo osciloscopio 5CP1A de unos 13 centímetros de diámetro, con un largo cuello dirigido hacia la parte inferior del cárter y una pantalla fosforescente que apuntaba hacia la «culata» del cilindro. La pantalla de cada tubo tenía casi la misma superficie de visualización que una calculadora gráfica o uno de los

primeros cajeros automáticos que empezaban a verse en el exterior de los bancos.

Atornillado en la parte inferior del cárter, y con el aspecto de un bloque motor muy alto (y con válvulas en cabeza), estaba el bastidor principal del ordenador, que contenía los registros de memoria, los acumuladores, los registros aritméticos y el control central. Un colector de admisión suministraba los datos al ordenador, y un colector de escape proporcionaba los resultados. Un ventilador de unos 130 metros cúbicos por minuto inyectaba aire frío en la base del motor, mientras que otros veinte más pequeños, que parecían turbocompresores, extraían el exceso de calor a través de conductos elevados. Al principio, el aire frío era introducido desde arriba hacia abajo a través del núcleo del ordenador y salía por el suelo, pero más tarde se optó por el sistema utilizado hoy en los modernos centros de datos, donde todo el conjunto de la sala de máquinas se refrigera mediante una batería de acondicionadores de aire externos y el calor emitido sale por arriba. «La energía total disipada en el cuerpo principal de la máquina es de unos 19,5 kW —se informaba en 1953—. Aproximadamente 9 kW representan la disipación de la alimentación de corriente alterna, mientras que los 10,5 kW restantes son resultado de los calentadores, los transformadores y los ventiladores.» [\[410\]](#)

La unidad original de aire acondicionado estaba calibrada en 7,5 toneladas, y más tarde se duplicó su capacidad a 15 toneladas. Eso significa, más o menos, que si el sistema de aire acondicionado se hubiera puesto a funcionar a plena potencia (unos 50 kilovatios) y se le hubiera suministrado agua helada, podría haber producido 15 toneladas de hielo al día. Las unidades de refrigeración, fabricadas por la empresa York Refrigeration y apodadas York por los ingenieros, causaban frecuentes problemas. La capacidad de producir 15 toneladas de hielo al día significaba que bastaban unos 40 minutos para que los serpentines de refrigeración se congelaran de forma catastrófica con la humedad del aire estival de Nueva Jersey.

«El refrigerador se ha quedado completamente bloqueado a causa del hielo», reza una entrada del diario de la máquina correspondiente a las 20.55 del 23 de septiembre de 1954. «Ahora York se niega por completo a funcionar; fusible de 35 amperios fundido —se lee en la siguiente entrada, de las 21.10—. Se sustituye y se pone en marcha a York mientras se deshiela el refrigerador. York funciona mal. Se desconecta la corriente continua para ayudar.» La última entrada del día indica que la principal fuente de alimentación de corriente continua del ordenador había sido desconectada, con la esperanza de rebajar la temperatura del núcleo hasta el punto en que resultara seguro reiniciarlo. Sin embargo, que funcionara el aire acondicionado o el ordenador, pero no ambas cosas, no resultaba de mucha ayuda. El fuerte tirón de corriente alterna de York tenía tendencia a introducir errores en los tubos Williams en el peor momento posible. «Todos mis intentos fallidos de duplicación se produjeron durante un período de inestabilidad por parte de York», reza el diario de la máquina el 22 de octubre de 1954. «Desconectado», anota Norman Phillips, el pionero de los modelos climatológicos, a las 19.38. «Es porque York está dando guerra», añade Hedi Selberg.

«York ha hecho que las luces se atenuaran segundos antes del error», señalaba Nils Barricelli el 2 de noviembre de 1954. [\[411\]](#)

Los ingenieros afrontaron el reto de conseguir que todos aquellos componentes dispares trabajaran juntos, no solo entre ellos, sino también con las instrucciones codificadas en virtud de las cuales la máquina cobraría vida. «La planificación de esta máquina requerirá la misma previsión y el mismo rigor autosuficiente —le había explicado Von Neumann a Roger Revelle en 1947— que se necesitaría para poder dejar a un grupo de veinte calculadoras (humanas), que fueran fiables pero estuvieran absolutamente desprovistas de iniciativa, solas durante un año, trabajando en función de unas instrucciones exhaustivas pero rígidas, que se esperaba que previeran todas las contingencias posibles.» [\[412\]](#)

Cuando el ordenador se detenía, ¿era el ruido en la deflexión de un haz de electrones o la transposición de un bit en la especificación de una dirección de memoria? «Intento fallido, ¿máquina o humano?», reza la primera entrada del cálculo de una onda expansiva realizado en febrero de 1953. Y luego se añadió una respuesta: «Problema detectado en el código. ¡Espero!». «Error de código, máquina no culpable», admitía Barricelli el 4 de marzo de 1953. «Es inútil, ¡BUENAS NOCHES!», Se registró a las 23.00 del 7 de mayo de 1953. «¡Maldita sea! Yo puedo ser tan obstinado como este trasto —anotó un meteorólogo el 14 de junio de 1953—. Nunca sabré por qué de vez en cuando tienes que cargar dos veces estos códigos para hacerlos funcionar, pero normalmente funcionan a la segunda.» [\[413\]](#)

Todos los cómputos se realizaban dos veces, y solo se aceptaban cuando ambas producían resultados duplicados. «Ahora que he duplicado AMBOS RESULTADOS, ¿cómo sabré cuál es el bueno dando por hecho que uno de ellos sea correcto?», se pregunta un ingeniero el 10 de julio de 1953. «Este es el tercer resultado distinto —reza la siguiente entrada del diario—. Admito la derrota.» Alguien que ejecutó un código relacionado con la bomba de hidrógeno desde las 2.09 hasta las 5.18 del 15 de julio de 1953 se despide así: «¡Si esta máquina fuera solo un poco coherente...!».

«¡A LA MIERDA! —Reza la última entrada del 17 de junio de 1956, escrita trece minutos después de la medianoche, al observar que el control principal se está apagando—. C/P [control principal] APAGADO (¡¡APAGADO DEL TODO!!).» Harían falta años de quemarse las pestañas para resolver esos problemas, pero la tendencia general sería que el *hardware* se fuera volviendo más fiable y libre de errores, al tiempo que los códigos se volvían más complicados y propensos a errores. «C/P OK. Todos los problemas eran problemas de código», reza una entrada del diario del 6 de marzo de 1958, un mes después de la muerte de Von Neumann. [\[414\]](#)

La arquitectura lógica del MANIAC era indiscutiblemente obra de Burks, Goldstine y Von Neumann, cualquiera que fuese la fuente original de sus

ideas. Su aplicación física era indiscutiblemente obra de Bigelow, y su diseño electrónico era en gran medida el resultado del trabajo en equipo de Bigelow, Pomerene, Rosenberg, Slutz y Ware. Hubo frecuentes desacuerdos entre Goldstine y Bigelow, pero ellos se ocuparon del calendario y la gestión del proyecto más que de su diseño. Goldstine no se consideró nunca un experto en ingeniería, aunque de hecho se construyó un televisor a partir de un kit, «lo que al menos le dio cierto conocimiento de lo que implica montar equipamiento electrónico o electromecánico —afirmó Rubinoff—, y al mismo tiempo también le dio una idea de lo que se puede hacer con circuitos de activación y circuitos de conmutación y tal». [\[415\]](#)

Rosenberg, sin embargo, discrepaba fuertemente con Bigelow en cuanto al diseño de circuitos. «Durante el día yo hacía lo que me mandaba, y luego volvía por la noche para diagnosticar con precisión y arreglar los problemas», explicó. Pomerene era más diplomático. «Creo que tendría que darle más o menos el cien por cien del mérito por el inusual pero sumamente eficaz diseño mecánico de la máquina», reconoció, honrando a su colega, a quien terminaría por sustituir como ingeniero jefe en 1951, en el esfuerzo final por conseguir terminar el proyecto. [\[416\]](#)

«Julian tenía las ideas, Ralph [Slutz] detallaba esas ideas, y luego Pom [James Pomerene] y yo tratábamos de hacer que los electrones hicieran su trabajo —dijo Willis Ware—. El venía a ser más físico y teórico que ingeniero... En el lenguaje moderno, lo que se diría es: Julian fue el arquitecto de aquella máquina.» [\[417\]](#)

«La velocidad a la que Julian podía pensar y la velocidad a la que Julian podía juntar ideas fueron la velocidad a la que avanzó el proyecto», añadió Ware. En 1951 se concedió a Bigelow una beca Guggenheim, y este pidió un permiso de un año. «Herman Goldstine y posiblemente Von Neumann pensaban que había algo en Julian que le impediría llegar a terminar nunca del todo la máquina; que podía llegar casi al 99,9 por ciento, pero que nunca conseguiría que se hiciera ese 0,1 por ciento restante —explicó Pomerene—.

Y digamos, por más que la beca Guggenheim llegara por casualidad, que se sintieron bastante contentos de nombrarme ingeniero jefe y conseguir que el asunto se terminara.» [\[418\]](#)

«Su problema era que se trataba de un pensador —señaló Atle Selberg, cuya esposa, Hedi, fue contratada por Von Neumann el 29 de septiembre de 1950 y permaneció en el proyecto de computador hasta su terminación en 1958—. El no dejaba las cosas cuando otras personas pensaban que estaban terminadas. Julian siempre pensaba en hacer un poco más aquí y allá.» [\[419\]](#)

«Entiendo que se diga eso —afirmó Ware a propósito de la vena perfeccionista de Bigelow—. Pero yo pienso, retrospectivamente, que de no ser así la maldita máquina podría no haber funcionado. ¡Demonios! ¡Intentábamos hacer que dos mil tubos de vacío hicieran su trabajo! Y para hacerlo de manera fiable, aquel nivel de perfección era un atributo positivo.» [\[420\]](#)

«Creo que parte del problema era que él buscaba la perfección antes de poner algo en marcha —dijo Morris Rubinoff—. Nunca sabías si lo hacía porque buscaba la perfección o porque le preocupaba la fiabilidad. Nadie había tenido nunca antes el coraje de probar una máquina tan rápida de semejante manera. Y montar una máquina y encontrarse con que fallaba cada tres segundos no te ayudaba mucho.» [\[421\]](#) Bigelow estaba de acuerdo: «No puedes construir una máquina en paralelo de cuarenta fases a menos que la circuitería básica de cada fase sea tan buena que haga lo que debe hacer independientemente del estado de la siguiente fase —explicó—. Tiene que trabajar a velocidad de megaciclos durante cientos de horas. No puedes confiar en el azar.» [\[422\]](#)

Para Bigelow, la arquitectura en paralelo de cuarenta fases se derivaba directamente de la máquina en serie de Turing. «La máquina de Turing no suena muy parecida a un ordenador moderno, pero aun así lo era —explicó Bigelow—. Fue la idea germinal. Si construyes un aparato que obedecerá ciertas órdenes explícitas de una cierta manera explícita, ¿puedes decir algo

acerca de la clase de procesos computacionales o intelectuales que podrá o no realizar?» Bigelow y Von Neumann mantuvieron largas discusiones sobre las implicaciones del trabajo de Gódel y de Turing. «Von Neumann lo entendía muy profundamente —confirmó Bigelow—. De modo que, observando el ENIAC, o algunas de las primeras máquinas, que eran muy inflexibles, él supo ver mejor que nadie que aquel era solo el primer paso, y que habría una gran mejora.» [\[423\]](#)

«Lo que aportó Von Neumann», indicó Bigelow, fue «esa confianza inquebrantable que decía: “¡Adelante!, lo demás no importa, que funcione a tal velocidad y a tal capacidad, y el resto son solo un montón de tonterías”. Fue realmente basándonos en ese tipo de creencia como pudimos tirar adelante partiendo de seis personas y un presupuesto.» [\[424\]](#) El planteamiento de Von Neumann fue juntar a un puñado de ingenieros en una guarida de matemáticos, en lugar de juntar a un puñado de matemáticos en una guarida de ingenieros. Ello liberó el proyecto de cualesquiera restricciones que podría haber impuesto un grupo de ingenieros ya establecido con opiniones preconcebidas acerca de cómo debería construirse un ordenador. «Nosotros éramos misioneros —afirmó Bigelow—. Nuestra misión era construir una máquina que demostrara que la computación de alta velocidad era posible.» [\[425\]](#)

«Una larga cadena de improbables acontecimientos aleatorios condujeron a nuestra implicación —concluía Bigelow en 1976—. Si unas personas que normalmente teníamos aspiraciones modestas trabajamos de manera tan intensa y desinteresada fue porque creíamos y sabíamos lo que estaba ocurriendo allí y en unos pocos sitios más en aquel momento, y teníamos la suerte de participar en ello. Estábamos seguros porque Von Neumann barrió las telarañas de nuestras mentes como no podría haberlo hecho nadie más. Una gigantesca ola de poder computacional estaba a punto de romper e inundarlo todo, tanto en la ciencia como en muchos otros ámbitos, y las cosas ya nunca volverían a ser como antes.» [\[426\]](#)

* * * *

Capítulo 9

Ciclogénesis

La parte que es estable vamos a predecirla. Y la parte que es inestable vamos a controlarla.

JOHN VON NEUMANN, 1948

«Estoy algo preocupado por el servicio de té en el edificio del computador electrónico —escribía el director saliente del IAS Frank Aydelotte a John von Neumann el 5 de junio de 1947, seis meses después de que los ingenieros del Proyecto de Computador se hubieran marchado de Fuld Hall—. Al parecer, los miembros de su personal consumen varias veces más cantidad que el mismo número de personas en Fuld Hall, y han sido especialmente acaparadores en materia de azúcar.» La guerra había terminado, pero todavía había escasez de alimentos y de materiales de construcción. «Venir aquí como hizo Thompson y llevarse una gran cantidad de azúcar, superior a sus raciones, es una jugarreta —proseguía Aydelotte—, y me gustaría plantear la cuestión de si no sería mejor para la gente del computador venir a Fuld Hall al final de la jornada, a las cinco de la tarde, y tomar el té aquí bajo la adecuada supervisión.» [\[427\]](#)

El culpable era el teniente del cuerpo de aviación Philip Duncan Thompson, que formaba parte de un pequeño grupo de meteorólogos que habían sido reclutados por Von Neumann en 1946. «Von Neumann eligió el problema de la predicción numérica del tiempo para dedicarle una atención especial —explicaría más tarde Thompson— como el más complejo, interactivo y extremadamente no lineal que jamás se había concebido, capaz de desafiar las capacidades de los dispositivos computadores más rápidos durante muchos años.» [\[428\]](#)

Thompson, que nació en 1922, dató el comienzo de su educación científica a los cuatro años de edad, cuando su padre, un genetista de la Universidad de Illinois, le envió a echar una carta al buzón que había calle abajo. «Estaba oscuro y las farolas estaban encendiéndose justo en ese momento — recordaba—. Traté de introducir la carta por la boca del buzón, pero no entraba. Advertí que al mismo tiempo había una farola que parpadeaba de una forma muy peculiar, más bien estremecedora.» Corrió a casa y anunció que no había podido echar la carta «porque la farola emitía luces raras». Su padre volvió con él al buzón, le explicó que había estado intentando echar el sobre de forma equivocada y le «explicó de una manera muy clara que, por el hecho de que dos acontecimientos inusuales ocurrieran al mismo tiempo y en el mismo lugar, eso no significaba que hubiera una conexión real entre ellos». [\[429\]](#)

En la primavera de 1942, cuando cursaba su tercer año en la Universidad de Illinois, Thompson asistió a una conferencia de Carl-Gustaf Rossby, un meteorólogo nacido en Suecia, formado en Noruega y trasladado a la Universidad de Chicago, donde preparaba a futuros oficiales meteorológicos del ejército estadounidense —a la larga llegarían a ser 1.700— para la guerra. En mayo de 1942, en cuanto terminaron las clases, Thompson se alistó en el cuerpo de aviación para unirse al grupo de Rossby. Tras completar su entrenamiento fue destinado a Terranova, con la tarea de supervisar los sistemas meteorológicos del Atlántico Norte que habían llevado a los escandinavos a desarrollar la teoría de las ondas frontales y, por lo demás, a ser los primeros en predecir cómo iba a evolucionar el tiempo. Al final de la guerra fue destinado a la base de las fuerzas aéreas de Long Beach, California, como oficial meteorológico de enlace con el meteorólogo noruego Jacob Bjerknes, entonces en la Universidad de California en Los Ángeles, donde se hizo íntimo amigo de Jule Charney, que acababa de obtener su doctorado.

En 1945 la meteorología se había convertido en una ciencia, pero el pronóstico del tiempo seguía siendo un arte. Los pronósticos se generaban elaborando mapas meteorológicos a mano, comparando los resultados con bibliotecas de mapas de condiciones meteorológicas anteriores, y luego efectuando predicciones que se basaban en parte en el supuesto de que el tiempo evolucionaría igual que antes y, en parte, en la intuición del pronosticador a la hora de captar la situación y en su capacidad de adivinación. Por regla general, los pronósticos más allá de veinticuatro horas vista apenas seguían siendo poco más que de «persistencia»: la predicción de que mañana hará el mismo tiempo que hoy.

La Segunda Guerra Mundial, con su creciente dependencia de la aviación, condujo a un aumento de la demanda de pronósticos, mientras que el radar meteorológico y los globos meteorológicos equipados con radio incrementaron el flujo de datos de observación necesarios para elaborarlos. Thompson, que tenía formación en física matemática, estaba convencido de que, dado un conocimiento preciso del estado actual de la atmósfera y sus influencias externas, debería ser posible formular predicciones, basadas únicamente en las leyes de la física, sobre su estado en cualquier momento del futuro inmediato. Tenía en su haber una sola calculadora mecánica, el consejo de su padre de no inferir causas de las coincidencias y el conocimiento de que su predecesor, Lewis Fry Richardson, había intentado algo similar y había fracasado por completo.

Lewis Fry Richardson, un cuáquero y fervoroso pacifista que dimitió de la Oficina Meteorológica británica cuando esta pasó a formar parte del Ministerio del Aire, había empezado a desarrollar un modelo atmosférico numérico mientras trabajaba como superintendente del Observatorio Meteorológico y Magnético de Eskdalemuir, en Dumfriesshire, Escocia, en 1913. El observatorio, una filial del Laboratorio Nacional de Física, fue trasladado a Eskdalemuir desde Kew, cerca de Londres, cuando entraron en funcionamiento los ferrocarriles eléctricos. Aquel húmedo y apartado

enclave, deliberadamente emplazado lo más lejos posible de cualquier campo magnético artificial, se adecuaba muy bien a Richardson, quien cultivaba un «sueño intencionadamente guiado», dejando oscilar su mente entre un estado de cuasivigilia y un estado de cuasisueño. «Ese “cuasi” es la condición que resulta ventajosa para el pensamiento creativo», explicó. [\[430\]](#)

Al estallar la Primera Guerra Mundial, Richardson se sintió «dividido entre una intensa curiosidad por ver la guerra de cerca [y] una intensa objeción a matar gente». [\[431\]](#) Solicitó su incorporación a la que se convertiría en la Unidad de Ambulancias de los Amigos cuando se formó el embrión de esta en 1914, y finalmente, en mayo de 1916, se le concedió un permiso del observatorio para unirse a ella. Después de un entrenamiento básico acerca de cómo mantener en marcha las ambulancias y vivos a los heridos, en septiembre partió rumbo a Francia, donde sirvió en el frente, en las filas de la 16.^a División de Infantería francesa, hasta 1919.

La Sociedad de los Amigos había ganado en respetabilidad desde la época de Carlos II y el encarcelamiento de William Penn. Guiada por la misión humanitaria de asistir a los heridos, junto con la negativa de los cuáqueros a someterse a la autoridad militar, la Unidad de Ambulancias de los Amigos sirvió con heroica autodisciplina durante la Gran Guerra. El convoy de Richardson, conocido como la Section Sanitaire Anglaise Treize, o SSA 13, llegó a contar con unos efectivos de 20 ambulancias y 45 hombres. Entre febrero de 1914 y enero de 1919 transportaron 74.501 pacientes a lo largo de 599.410 kilómetros en misiones de evacuación. [\[432\]](#)

Richardson, que era un conductor mediocre pero un buen mecánico, se hizo querer por el resto del grupo. «El otro día mi dinamo de luz eléctrica falló — explicaba Olaf Stapledon, el futuro autor de *Last and First Men* [\[XIV\]](#) el 8 de diciembre de 1916—. El mecánico estaba fuera y yo sé poco de electricidad, así que estaba hecho polvo. Por suerte descubrimos que nuestro excéntrico meteorólogo era también un experto electricista. Él y yo nos pasamos una mañana desatornillando, reajustando, limpiando y haciendo arreglos aquí y

allá, a veces tendidos debajo del vehículo en el fango y otras asfixiándonos metidos dentro de la maquinaria.» [\[433\]](#)

Un año después, Richardson y Stapledon celebraban la cuarta Navidad de la guerra.

La luna brilla, y la tierra es un resplandor de nieve bajo la luna. Júpiter, que anoche estaba junto a la Luna, ahora ha quedado un poquito atrás. Venus acaba de hundirse arrebolada por el oeste, después de haber sido durante mucho tiempo un deslumbrante esplendor blanco en el cielo —informaba Stapledon el 26 de diciembre de 1917—. Acabo de regresar de un paseo con nuestro profesor, que ha conducido a mi asombrada mente por los laberintos y misterios de la verdad sobre los átomos y electrones, y sobre la más esquiva de las criaturas de Dios, el éter. Y durante todo ese rato nos hemos deslizado a través de un amplio valle blanco y hemos ascendido a una cresta cubierta de pinos, y por todas partes los cristales de nieve brillaban bajo nuestros pies, destellando y desapareciendo misteriosamente como nuestros propios breves atisbos de la verdad sobre los electrones. La nieve estaba muy seca y arenosa bajo nuestros pies, y debajo de aquella suave manta blanca yacía el fango congelado, lleno de desniveles. Los pinos se alzaban en negras hileras contemplándonos desde la cresta de la colina, y la más suave de las brisas susurraba entre ellos cuando nos acercábamos. El viejo profesor (tiene solo unos treinta y cinco años y es muy activo, pero posee una mentalidad de alguien mayor) no caminaba deprisa, y yo tenía mucho frío a pesar de mi abrigo de piel de cordero; pero al cabo de un rato estaba tan absorto en su conversación que me olvidé hasta de que tenía las orejas heladas... Cruzamos la cresta a través de una estrecha hendidura y descubrimos una nueva tierra, blanca como la anterior, pero más desolada. Y en el nuevo horizonte yacían nuestros viejos lugares y el frente. El ruido de cañonazos muy distantes llegaba hasta nosotros como un murmullo. [\[434\]](#)

Richardson siguió trabajando en su modelo numérico cada vez que tenía un momento libre. «Este alojamiento es un granero como el anterior, pero

ahora estamos mucho más apiñados —señalaba Stapledon el 12 de enero de 1918—. A mi lado está sentado Richardson, el Profe, preparándose para una tarde de cálculos matemáticos, con los oídos tapados por un ingenioso dispositivo de insonorización.» [\[435\]](#) Los datos de entrada del modelo consistían en una tabulación de las condiciones meteorológicas observadas en el norte de Europa en un intervalo de seis horas entre las cuatro y las diez de la mañana del 20 de mayo de 1910, un «día internacional del globo» en que el meteorólogo noruego Vilhelm Bjerknes había recopilado registros muy detallados. Bjerknes, cuyos esfuerzos pioneros para cuantificar nuestro conocimiento de la atmósfera habían inspirado a Richardson, tenía un hijo, Jacob Bjerknes, que posteriormente sería el supervisor de Thompson en la Universidad de California en Los Ángeles.

«Mi oficina era un montón de heno en un frío alojamiento —informaba Richardson—. Necesité casi seis semanas enteras para preparar los formularios de cómputo y determinar la nueva distribución en dos columnas verticales por primera vez.» [\[436\]](#) Los cálculos extensos se adecuaban bien a la larga e interminable guerra. Rodeado de fango, muerte y metralla, Richardson trabajó para reconstruir el tiempo de aquella mañana de primavera en la que numerosos globos sonda habían sobrevolado la entonces pacífica campiña europea, tratando los movimientos de la atmósfera como la solución de la naturaleza a un sistema de ecuaciones diferenciales que vinculaban las condiciones de celdas adyacentes de un paso temporal al siguiente.

Richardson utilizó un método de diferencias finitas que había desarrollado en 1909. «Tanto en ingeniería como en muchas de las ciencias menos exactas, como la biología, existe una demanda de métodos rápidos, fáciles de entender y aplicables a ecuaciones inusuales y cuerpos irregulares», había escrito en un informe a la Royal Society en 1909. [\[437\]](#) Con unas condiciones de contorno tan mal definidas como solía ser el caso en meteorología, las respuestas aproximadas se consideraban lo bastante buenas.

La predicción resultante no coincidía en absoluto con lo que había ocurrido el 20 de mayo de 1910, aunque Richardson acertaba en su creencia de que a la larga los cálculos llegarían a reemplazar a los métodos sinópticos de predicción del tiempo existentes, en que «el pronóstico se basa en la suposición de que lo que entonces hizo la atmósfera volverá a hacerlo ahora» y «la historia pasada de la atmósfera se utiliza, por así decirlo, como un modelo de trabajo a escala natural de su ser actual». [\[438\]](#) Completó el pronóstico de prueba, y luego, «durante la batalla de La Champaña, en abril de 1917, la copia de trabajo fue enviada a la retaguardia, donde se perdió, para ser redescubierta unos meses más tarde bajo un montón de carbón». [\[439\]](#)

Después de la guerra, Richardson publicó un detallado informe, titulado *Weather Prediction by Numerical Process* («Predicción del tiempo mediante proceso numérico»), para que otros pudieran aprender de sus errores. Al final de su descripción concebía la idea de dividir la superficie de la Tierra en 3.200 celdas meteorológicas y retransmitir por telégrafo las observaciones del momento a una gran sala con galerías abovedadas y un anfiteatro central situado a un nivel inferior donde unas 64.000 calculadoras humanas evaluarían continuamente las ecuaciones que gobernaban las relaciones de cada celda con sus vecinas inmediatas, manteniendo así un modelo numérico de la atmósfera en tiempo real. «Fuera hay campos de deportes, casas, montañas y lagos, porque se ha pensado que quienes computan el tiempo deben respirarlo libremente», imaginaba, y añadía que «quizá un día, en un futuro remoto, sea posible avanzar los cálculos más rápidamente de lo que avanza el tiempo, y a un coste menor que el ahorro para la humanidad debido a la información obtenida». [\[440\]](#)

Veintiséis años después, Philip Thompson recogía el testigo de Richardson. Thompson recordaba: «El de 1946 fue un año de fermento, puesto que la formulación del problema y el medio de resolverlo estaban por fin aproximándose mutuamente, aunque no de manera intencionada». [\[441\]](#)

Thompson «trabajó infatigablemente con una vieja calculadora de escritorio Monroe, intentando encontrar atajos y sintiéndose cada vez más deprimido por la carga de tener que calcular a mano», hasta que, en sus propias palabras, «una hermosa tarde de comienzos del otoño de 1946 vino a verme el profesor Jorgen Holmboe, me dijo que estaba al tanto de lo que yo intentaba hacer y me entregó un artículo del *New York Times*». El artículo anunciaba que Vladimir Zworykin, de la RCA, y John von Neumann, del Instituto de Estudios Avanzados, tenían la intención de colaborar en la construcción de un ordenador electrónico de alta velocidad y en su aplicación para la predicción y el control del tiempo. «Al día siguiente llamé a mi superior, el general Ben Holzman, y le pedí autorización para viajar a Princeton a fin de reunirme con Von Neumann —prosiguió Thompson—. El general Holzman refunfuñó un poco, pero aceptó a condición de que viajara como miembro suplementario de la tripulación de un avión militar que de todos modos se dirigía hacia el este. Al día siguiente ya se habían hecho todos los preparativos, y finalmente llegué a Princeton después de haber viajado en B-29, autobús, diligencia, ferrocarril, carreta de bueyes y el PJ&B.» [\[442\]](#)

El PJ&B (siglas de Princeton Junction & Back) era el tren de cercanías de dos vagones, también conocido como *Dinky* («El chiquitín»), que hacía el trayecto entre la Universidad de Princeton y la estación central de ferrocarril de esta población.

Thompson se reunió con Von Neumann; aunque se sentía «intimidado», logró centrarse en el tema y le explicó lo que había estado haciendo con su calculadora de escritorio en la Universidad de California en Los Ángeles. «Al cabo de una media hora, me preguntó si me gustaría unirme a su Proyecto de Computador Electrónico —recordaba Thompson—. A continuación me preguntó cómo había que organizar mi incorporación. Yo le sugerí que llamara al general Holzman y hablara con él. Él lo hizo, charlaron durante unos minutos, y luego me pasó el teléfono y me dijo que el general Holzman

quería hablar conmigo. La conversación fue un breve monólogo. Fue algo así como: “Bueno, supongo que es mejor que venga a recoger su equipo. Ya le llegarán las órdenes”.» [\[443\]](#)

Thompson llegó al Instituto en diciembre de 1946, trasladándose a uno de los apartamentos de Mineville, al pie de Oíd Lañe. «Era alto y muy aristocrático —recordaba Akrevoe Kondopria—. Y muy bien parecido, casi como Peter O’Toole... y llevaba uniforme. Imagino que era él quien cogía el azúcar.» El grupo meteorológico estaba formado principalmente por visitantes temporales, procedentes de todo el mundo. «Yo compartía despacho con Paul Queney, de la Sorbona, un pequeño despacho bajo el alero de Fuld Hall —recordaba Thompson—. Nos costaba mucho comunicarnos, ya que su inglés no era mejor que mi francés.» [\[444\]](#)

En el Instituto, los meteorólogos provocaban casi tanto recelo como los ingenieros. «Cualquier estudio del tiempo, incluso uno que condujera a un eventual control científico, era primordialmente una ciencia empírica más que teórica, y, como tal, era más propia de una escuela de ingeniería que de una institución consagrada a las humanidades», argumentó Marston Morse. Con la excepción de Von Neumann y Veblen, los matemáticos «aprobaron este paso con cierta renuencia», según informaban las actas. Resignado ante lo inevitable, Morse advirtió de que, «si se emprendía ese estudio en conexión con el computador electrónico, habría que tener mucho cuidado de separarlo del trabajo del Instituto como tal». [\[445\]](#)

La meteorología había formado parte del proyecto de computador desde el principio. A mediados de 1945, Vladimir Zworykin había empezado a ver la meteorología como una oportunidad para la RCA. No está claro si fue Zworykin quien embarcó a Von Neumann o al revés. «Recuerdo que a finales de 1945 o principios de 1946 leí una propuesta bastante fantástica de Zworykin para la construcción de un computador analógico que explorara las distribuciones bidimensionales de datos meteorológicos proyectados en una pantalla y luego computara el tiempo futuro por medio de técnicas

analógicas —explicaría más tarde Jule Charney—. Variando continuamente los datos de entrada y observando los de salida, se podría determinar la manera más eficaz de modificar los datos de entrada para producir unos datos de salida determinados. Por entonces Johnny estaba en contacto con Zworykin, y quizá su interés en la computación y la modificación meteorológicas se iniciara entonces.» [\[446\]](#) Fuera cual fuese la génesis del plan, el caso es que Von Neumann y Zworykin fueron juntos a venderlo a Washington.

«A finales del verano de 1945, tras el final de la guerra en Europa y en Asia, John von Neumann... y Vladimir Zworykin... vinieron a verme al Departamento de Marina», recordaba Lewis Strauss. Sus visitantes le describieron los tubos de almacenamiento digital que se estaban desarrollando en la RCA y cómo «las observaciones sobre temperatura, humedad, dirección y fuerza del viento, presiones barométricas y muchos otros datos meteorológicos en numerosos puntos de la superficie de la Tierra y en determinadas elevaciones seleccionadas por encima de ella... podían almacenarse en las “memorias” de dichos tubos». A partir de esta representación digital «se podía desarrollar un patrón o sistema armónico que a la larga permitiera al mencionado dispositivo de almacenamiento de datos predecir el tiempo con un alcance extremadamente largo». [\[447\]](#) El modelo numérico de Richardson sería capturado en tubos de vacío de los que se habría eliminado todo rastro de la atmósfera real.

Zworykin redactó un «Esbozo de propuesta meteorológica» de once páginas, fechado en octubre de 1945, donde sugería que el pronóstico computerizado «sería un primer paso en cualquier intento de controlar el tiempo, un objetivo reconocido como posible a la larga por todos los hombres con visión de futuro». Con un conocimiento lo suficientemente detallado, «la energía implicada en el control del tiempo sería muchísimo menor que la implicada en el propio fenómeno meteorológico». Von Neumann añadió un anexo en el que afirmaba que «el problema matemático de predecir el tiempo puede ser

abordado, y debe serlo, ya que los fenómenos meteorológicos más manifiestos se originan en situaciones inestables o metaestables que podrían controlarse, o al menos dirigirse, por medio de la liberación de cantidades de energía perfectamente prácticas». [\[448\]](#)

Von Neumann y Zworykin propusieron la colaboración entre el Instituto de Estudios Avanzados, la RCA y la marina estadounidense, y, con Strauss ya definitivamente incorporado al equipo, finalmente se puso en marcha el proyecto de ordenador del IAS. «Ellos señalaron las ventajas militares de una inteligencia meteorológica precisa de largo alcance, y ello parecía justificar el coste de tal iniciativa, estimado en unos 200.000 dólares —contó Strauss—. Si en 1945 no se hubiera tomado la decisión de fabricar el ordenador, el programa termonuclear podría haberse retrasado lo bastante como para que hubieran sido los soviéticos quienes hubieran tenido las primeras armas. Dicha posibilidad estaba muy lejos de la mente de nadie cuando Von Neumann inició el proyecto.» [\[449\]](#)

Las armas termonucleares, sin embargo, estaban muy presentes en la mente de Von Neumann a finales de 1945, aunque ello se le hubiera ocultado a Zworykin y, por el momento, incluso a Strauss. Los preparativos para el cálculo termonuclear que empezaría a realizar el ENIAC el 10 de diciembre de 1945 estaban ya en marcha, y, plenamente conscientes de las limitaciones del ENIAC, los expertos en desarrollo de armamento luchaban para que se empezara a construir cuanto antes su sucesor. La meteorología ofrecía a la vez un problema real y una tapadera perfecta para trabajar con bombas.

El primer anuncio público del proyecto lo hizo el *New York Times* después de una reunión en Washington entre Zworykin, Von Neumann y Francis W. Reichelderfer, jefe del Servicio Meteorológico estadounidense. El «desarrollo de una nueva calculadora electrónica, al parecer dotada de potencialidades asombrosas... podría incluso posibilitar “hacer algo con el tiempo” —informaba el rotativo—. La energía atómica podría proporcionar un medio

para desviar, mediante su poder explosivo, un huracán antes de que este pudiera afectar a un lugar poblado». [\[450\]](#)

Con los detalles del ENIAC todavía restringidos, el *New York Times* solo informaba vagamente de que «ninguna de las máquinas existentes, sin embargo, resulta tan pretenciosa en alcance como el dispositivo de Von Neumann y Zworykin». Esos proponían construir no solo un ordenador, sino una red de ordenadores que abarcara el mundo entero. «Con el número suficiente de estas máquinas (se mencionaban cien como una cifra arbitraria), podrían crearse estaciones locales que hicieran posible pronosticar el tiempo en todo el mundo.» [\[451\]](#)

A Reichelderfer le contrarió que la noticia del proyecto se hubiera filtrado a la prensa, y a Eckert y Mauchly les contrarió que el *New York Times* no hubiera hecho mención alguna del ENIAC pero, en cambio, hubiera mencionado la propuesta del ordenador del IAS y la RCA, que ni siquiera existía. Se sentían ninguneados por Von Neumann, ya que ellos eran los autores del informe del EDVAC, y además, debido al secretismo impuesto a su propio proyecto, tampoco podían hacer pública una respuesta. Se ignora cómo se filtró la noticia, o si su aparición justo cuando el ENIAC terminaba su primer cálculo sobre la bomba de hidrógeno, que le llevó un mes entero, fue una coincidencia.

Von Neumann estaba convencido de que Lewis Fry Richardson (cuyo trabajo le describió a Strauss como «notable y audaz») había ido por el buen camino, y creía que entender el tiempo reportaría a la larga mayor poder, para bien o para mal, que saber fabricar bombas. En la propuesta del Instituto a la marina, redactada en colaboración con Carl-Gustaf Rossby, estimaba que, una vez que el nuevo ordenador estuviera en funcionamiento, «una predicción calculada a fondo para todo el hemisferio norte debería llevar alrededor de dos horas por día de predicción». En una carta personal a Strauss, en la que también expresaba «serias dudas en cuanto a la prudencia de nombrar [a Oppenheimer] director del Instituto», añadía que el

Proyecto de Meteorología «sería también el primer paso hacia el control del tiempo, aunque yo preferiría no entrar en ello en este momento». Hasta «los proyectos más constructivos para el control del clima tendrían que basarse en ideas y técnicas que también se prestaran a formas de guerra climática aún inimaginables», advertiría más tarde. [\[452\]](#)

Una vez asegurado el contrato de la marina, y con la ayuda de Rossby, Von Neumann organizó una conferencia sobre meteorología, celebrada en el Instituto los días 29 y 30 de agosto de 1946, cuyo último tema de debate fue cómo resucitar el esfuerzo de Richardson ahora que se disponía de la suficiente potencia numérica para ello. «Se ha considerado que la acometida numérica debería repetirse de inmediato —informaba el resumen de la reunión—, ya que hasta las instalaciones de computación mecánica existentes tienen capacidades considerablemente superiores a aquellas de las que Richardson pudo disponer.» [\[453\]](#)

Se invitó a más de una docena de meteorólogos a realizar una estancia en el Instituto, pero no había sitio donde acomodarlos, y el 15 de julio de 1946 se informaba de que había todavía once meteorólogos a quienes «no se ha encontrado alojamiento». En parte debido a la falta de vivienda y, en parte, a la falta de un ordenador operativo, el proyecto se fue reduciendo, y al final, en un determinado momento, no habría más que un puñado de meteorólogos en el Instituto. La primera contribución de Von Neumann fue mostrar que los métodos existentes para integrar las ecuaciones hidrodinámicas «resultan inestables en aquellas condiciones de resolución espacial y temporal que son esencialmente características del problema de la predicción meteorológica», y que era ahí donde Richardson se había equivocado. «He desarrollado un método que puede demostrarse que es estable y que parece resultar adecuado para el procedimiento numérico si se dispone de equipamiento electrónico», anunciaba en su segundo informe de progreso a la Oficina de Investigación Naval. [\[454\]](#)

«La atmósfera —explicaba en el siguiente informe de progreso— está compuesta de una multitud de pequeños elementos masivos, cuyo comportamiento se halla tan interrelacionado que ninguno de ellos puede dissociarse, ni siquiera de hecho, de todo el resto.» El problema era cómo traducir la computación analógica realizada por la atmósfera a un computador digital y luego acelerarla. «Un sistema cerrado de ecuaciones diferenciales, ordinarias o parciales, lineales o no lineales, puede verse como un conjunto de instrucciones para obtener su solución a partir de unos valores límite e iniciales conocidos —proseguía—. Hasta ahora, sin embargo, el tiempo requerido para ejecutar dichas “instrucciones” ha sido prohibitivo.»

[\[455\]](#) Ahora eso estaba a punto de cambiar.

La reacción de la mayoría de los meteorólogos frente al pronóstico del tiempo asistido por ordenador fue similar a la de los matemáticos del Instituto frente a las matemáticas asistidas por ordenador: de escepticismo ante la idea de que una máquina pudiera mejorar lo que ellos estaban haciendo solo con el cerebro. Como explicó Thompson, «se mostraron contrarios, no por cualesquiera razones objetivas, sino porque realmente querían creer que el pronóstico del tiempo debería ser un arte». [\[456\]](#) Según Charney, la conferencia de 1946 «no supo cautivarla imaginación de los principales especialistas en meteorología dinámica a los que se invitó, y se ofrecieron pocas sugerencias que valieran la pena. Sin embargo, mi imaginación, que ya se había visto espoleada por el artículo de Zworykin, se sintió completamente cautivada. A mi regreso de Europa, en 1948, me apresuré a unirme al proyecto». [\[457\]](#)

A Jule Gregory Charney, nacido el día de Año Nuevo de 1917 en San Francisco, se le había diagnosticado erróneamente una afección cardíaca de niño, lo que le dejó con un inusual entusiasmo por la vida. Sus padres, Ely y Stella, habían emigrado de Rusia a Nueva York, habían encontrado trabajo en la industria textil y en 1914 se habían trasladado hacia el oeste de Estados Unidos, concretamente a California. Después de vivir un tiempo en

San Francisco, en 1922 se trasladaron a la parte este de Los Ángeles, y en 1927 a Hollywood, donde la madre de Jule consiguió el suficiente trabajo de los estudios de cine como para mantener intacta a la familia durante la Depresión. Ambos progenitores eran socialistas convencidos, y la casa era un foco de discusiones políticas y actividades sindicales. Jule aprendió cálculo por su cuenta cuando todavía estaba en el instituto, antes de matricularse en la Universidad de California en Los Ángeles, en 1934, y graduarse en 1938.

Con la guerra cada vez más cerca, Charney, que iba tirando como profesor adjunto de matemáticas y física, tuvo que decidir si se dedicaba a la meteorología, que era lo que le interesaba, o a la aeronáutica, que prometía resultar más útil en el conflicto bélico. Fue a ver al pionero de la aeronáutica Theodore von Kármán al Caltech (el Instituto de Tecnología de California), y este le aconsejó la meteorología, explicándole que la aeronáutica había madurado hasta un punto en el que los futuros progresos vendrían de la mano de la ingeniería, no de las matemáticas, mientras que la meteorología estaba justo en el momento adecuado para abordar un planteamiento matemático. Charney nunca miraba hacia atrás. Jacob Bjerknes había llegado recientemente a la UCLA (la Universidad de California en Los Ángeles) procedente de Noruega a fin de poner en marcha un programa de formación para meteorólogos, y en julio de 1941 Charney se unió al nuevo departamento como profesor adjunto por 65 dólares al mes.

Charney tenía una capacidad extraordinaria para condensar la atmósfera entera, desde la escala planetaria hasta la molecular, en ecuaciones que captaban lo que era importante y prescindían de lo que no lo era. «El gigante de Voltaire, Micromegas, que estaba en la misma proporción con respecto a la atmósfera que nosotros con respecto a un barreño en rotación, describiría la atmósfera como un fluido extremadamente turbulento y heterogéneo, sometido a fuertes influencias térmicas y desplazándose sobre una superficie irregular en rotación —escribiría más tarde—. El distinguiría una circulación zonal media, con vientos superficiales del oeste que aumentan con la altitud

en latitudes medias en ambos hemisferios, y vientos superficiales del este cerca del ecuador y los polos.» Un examen más detallado revelaría perturbaciones relacionadas con la distribución desigual de los continentes y océanos, y, superponiéndose a estas características casi permanentes, «encontraría toda una serie de vórtices migratorios, cuya escala varía desde miles de kilómetros hasta centímetros e incluso menos, pero con el grueso de la energía en la gama de los millares de kilómetros». [\[458\]](#)

Al final de la guerra, Charney se hallaba en plena elaboración de su tesis doctoral, «La dinámica de ondas largas en una corriente del oeste baroclínica», que completaría en 1946. Luego Charney, que se había casado recientemente, abandonó Los Ángeles acompañado de su esposa, Elinor Charney (de soltera Frye), para trasladarse a Chicago y realizar su primera tarea posdoctoral, con Rossby, que le invitó a la conferencia de Princeton celebrada en agosto, donde conoció a Von Neumann, supo de sus ambiciones y llegó a la conclusión de que en el IAS había demasiadas matemáticas y demasiado poca meteorología. En la primavera de 1947, él y Elinor zarparon rumbo a Bergen y Oslo, donde estuvo trabajando con los noruegos, hasta que a comienzos de la primavera de 1948 regresó a Princeton, donde permanecería durante los siete años siguientes.

Charney había llegado al lugar adecuado en el momento preciso. El ordenador estaba realizando las primeras pruebas, y, por otra parte, se estaban codificando ya los primeros problemas en previsión de que habría una máquina capaz de ejecutarlos. Se unió al grupo un contingente rotatorio de meteorólogos noruegos, dirigidos por Arnt Eliassen y Ragnar Fjortoft. Charney se convirtió en el enlace entre la experiencia práctica de los meteorólogos noruegos y el mundo matemático de Von Neumann. «Aunque yo tenía una idea bastante clara de lo que quería hacer en el sentido físico, solo tenía la más vaga de las nociones de cómo hacerlo matemáticamente», explicó Charney. [\[459\]](#) Las aptitudes de Von Neumann eran exactamente las opuestas. Charney también atrajo y albergó a una serie de extraordinarios

meteorólogos estadounidenses, especialmente Joseph Smagorinsky y Norman Phillips, que desempeñarían un papel importante en la realización de predicciones meteorológicas numéricas durante los diez años siguientes.

En la posguerra, Smagorinsky era todavía un estudiante de posgrado cuando Charney fue a dar una charla a la sede central del Servicio Meteorológico estadounidense, en la esquina de las calles 24 y M de Washington, en una época en que el pronóstico numérico era casi completamente ajeno a la forma de trabajar del Servicio Meteorológico. «Durante la guerra, cuando yo era estudiante del MIT, uno de los eminentes profesores que había allí, Bernhard Haurwitz, me dijo que el pronóstico numérico no podía llevarse a cabo —contó Smagorinsky—. Y la razón que me dio no era demasiado buena. Pero era más fácil decir que no podía hacerse que decir lo contrario. Y yo tenía esa idea fija en mi mente.» Al finalizar la charla de Charney, Smagorinsky le formuló la única pregunta que mostraba cierta reflexión real sobre el problema, y Charney le invitó a unirse al nuevo grupo de computación.

«La principal razón del fracaso de Richardson —señalaba Charney en el primer informe de progreso que preparó para la Oficina de Investigación Naval— puede atribuirse a su intento de hacer demasiado y demasiado pronto.» [\[460\]](#) Fue la comunidad meteorológica en su conjunto la que solucionó el primer problema de Richardson: reunir datos suficientes para establecer condiciones iniciales; pronto se vería que al hablar de días la noción de «condiciones de contorno» o «de frontera» se desintegraba y que era necesario disponer de un conocimiento hemisférico, donde la frontera entre los hemisferios norte y sur era la única que prevalecía con el tiempo. Fueron Von Neumann, Goldstine y Bigelow quienes solucionaron el segundo problema de Richardson: proporcionar el suficiente poder de computación para realizar la tarea. Y fue Charney quien más hizo para resolver el tercer problema de Richardson: formular ecuaciones cuyas soluciones no se

volvieran de inmediato más inestables que el propio tiempo. La clave consistía en filtrar el ruido innecesario.

«La atmósfera es un instrumento musical con el que se pueden tocar muchas melodías —le explicó Charney a Thompson en febrero de 1947—. Las notas altas son ondas sonoras, las notas bajas son ondas de inercia largas, y la naturaleza es un músico más del estilo de Beethoven que del de Chopin. Prefiere con mucho las notas graves, y solo de vez en cuando toca arpegios en los agudos, y aun entonces lo hace con mano ligera. Los océanos y los continentes son los elefantes que aparecen en la *suite* de los animales de Saint-Saéns.» [\[461\]](#)

Thompson le prestó atención, e informó a la Oficina de Investigación Naval de que «las ecuaciones hidrodinámicas cubren todo el espectro de acontecimientos, ondas sonoras, ondas gravitatorias, ondas de inercia lentas, etc., y podría simplificar considerablemente las cosas si que dichas ecuaciones fueran informadas de algún modo de que nos interesan solo ciertas clases de comportamiento atmosférico, esto es, la propagación de perturbaciones a gran escala». [\[462\]](#) Con la ayuda de Charney, no tardaron en elaborarse filtros numéricos que se incorporaron a códigos, los cuales, tras muchos cientos de horas de cálculo manual realizado por Margaret Smagorinsky, Norma Gilbarg y Ellen-Kristine Eliassen, se utilizaron para realizar una serie de pruebas. «El sistema que ellos iban a utilizar en el gran ordenador, nosotras lo realizábamos a mano —explicó Margaret Smagorinsky—. Era un trabajo muy tedioso. Las tres trabajábamos en un cuarto muy pequeño, y trabajamos mucho. Era una estancia pequeña con tres personas y tres máquinas de calcular Monroe.» [\[463\]](#)

Debido a los retrasos en la finalización del ordenador —y al hecho de que se diera prioridad a los problemas relacionados con la bomba de hidrógeno—, se decidió, como alternativa, ejecutar un cálculo de prueba a gran escala en el ENIAC. En marzo de 1950 se unieron a Charney George Platzman, Ragnar Fjortoft, John Freeman y Joseph Smagorinsky en una expedición a Aberdeen.

Para ello contaron con la guía de Klári von Neumann, que les ayudó a codificar su problema y les inició en el funcionamiento del ENIAC y sus máquinas periféricas de procesamiento de tarjetas.

«La representación de una visión pronosticada por L. F. Richardson cincuenta años antes... se inició a las doce del mediodía del domingo 5 de marzo de 1950, y se prolongó durante veinticuatro horas al día a lo largo de treinta y tres días con sus noches, con solo breves interrupciones», informó Platzman.

[464] «Hemos completado un pronóstico de doce horas», anotaba en su diario al cabo de trece días, el 18 de marzo. «Después de cuatro semanas habíamos hecho dos pronósticos de veinticuatro horas distintos —informaba Charney el 10 de abril—. El primero... no fue notable por su precisión, aunque tuvo algunos puntos buenos... El segundo... resultó ser sorprendentemente bueno. Hasta la rotación del viento sobre Europa occidental y la extensión de la zona de bajas presiones, que Ragnar consideraba un fenómeno baroclínico, resultaron correctamente pronosticadas.» [465] En el curso de la semana siguiente realizaron otros dos pronósticos de veinticuatro horas, para el 31 de enero y el 14 de febrero de 1949.

Debido al limitado almacenamiento interno, «hubo que recurrir a tarjetas perforadas para que actuaran como memoria de lectoescritura de alta capacidad, y ello exigió un íntimo acoplamiento entre las operaciones con las tarjetas perforadas y las operaciones del ENIAC, ingeniosamente ideado por Von Neumann». Cada paso del cálculo requería dieciséis operaciones sucesivas, seis para la aritmética interna del ENIAC y diez para que las operaciones externas con las tarjetas perforadas procesaran los resultados y prepararan el paso siguiente. «En el curso de los cuatro pronósticos de veinticuatro horas, se produjeron alrededor de cien mil tarjetas perforadas IBM estándar y se realizaron un millón de multiplicaciones y divisiones», informaban Charney, Von Neumann y Fjortoft. Una vez que se solucionaron los errores de programación, «el tiempo de cómputo para un pronóstico de

veinticuatro horas fue de unas veinticuatro horas, es decir, que logramos mantener justo el mismo ritmo que el tiempo». [\[466\]](#)

Charney y sus colegas volvieron triunfantes a Princeton. «Poco importaba que la predicción de veinticuatro horas tardara veinticuatro horas en ser completada —explicaría más tarde Charney—. Ese era un problema puramente tecnológico. Dos años después logramos realizar la misma predicción en nuestra propia máquina en cinco minutos.» [\[467\]](#) Animados por su éxito, desarrollaron una serie de modelos cada vez más detallados de la atmósfera sobre el hemisferio norte durante el día, al tiempo que se animaba la atmósfera en el complejo de viviendas por las noches.

«Le amábamos —dijo Thelma Estrin refiriéndose a Charney—. Era afectuoso y amable, le gustaban las fiestas, y siempre era el último en irse a casa.» Los ingenieros y los meteorólogos, que convivían en la estrechamente unida comunidad de Mineville, llevaron a los otros visitantes académicos a su redil. «Todos los meteorólogos eran muy divertidos y grandes bebedores —contó el topólogo húngaro Raoul Bott, que llegó en 1949 como protegido de Von Neumann tras graduarse en ingeniería—. Teníamos unas movidas tremendas —recordaba—. Aquel fue un punto álgido en mi vida.»

Bott destacó especialmente una tarde, justo después de la primera expedición del ENIAC, en que el poeta Dylan Thomas estaba en la ciudad. «Aproximadamente a las diez y media de la noche, o quizá a las once, estábamos celebrando una gran fiesta en una de aquellas chozas, y yo pensé: “Bueno, ¿no sería estupendo traer a Dylan Thomas aquí y ahora?”. Así que llamé al hotel —yo era un joven audaz— y me pasaron con Dylan Thomas, que estaba en la *curan*. Y me dijo: “¡Ah!, me gusta que me despierten, por supuesto”, ¿sabe?, y estaba dispuesto a venir de fiesta. Así que cogí el coche —teníamos un Buick descapotable de 1935— y me dirigí hacia allí junto con mi esposa, ella la mar de excitada, por supuesto, y en cuanto él subió al coche vi que iba a haber un pequeño problema, porque obviamente ella iba a ser su chica esa noche.» [\[468\]](#)

En la medida en que fue perfeccionando sus modelos, el grupo de Charney empezó a necesitar un parámetro de referencia con el que calibrar si las predicciones mejoraban o no. Para realizar su prueba, Richardson había utilizado la mañana —por lo demás anodina— del 20 de mayo de 1910. El grupo de Charney escogió el día de Acción de Gracias de 1950, en que una fuerte tormenta azotó el centro y el este de Estados Unidos. El fenómeno meteorológico, cuyo desarrollo no supieron prever los pronósticos entonces disponibles, causó trescientas muertes y daños materiales sin precedentes, y hasta se llevó parte del tejado del Laboratorio Palmer de Física de la Universidad de Princeton. Era la tormenta perfecta.

«Debido a la espontaneidad e intensidad de su desarrollo, esta tormenta fue seleccionada como un caso de prueba ideal para la predicción de la ciclogénesis», explicó Charney. Pese a la imprevisibilidad de la turbulencia, él creía que el «inicio y el desarrollo de los ciclones son acontecimientos determinados y predecibles». Aunque la ciclogénesis pudiera parecer aleatoria, «la perturbación inicial tendrá una localización preferente en el espacio y en el tiempo, y su amplitud, por más pequeña que pueda ser al principio, vendrá completamente determinada por el flujo básico. Es como un coche que fuera empujado lenta pero inexorablemente hacia un acantilado».

[\[469\]](#)

«La tormenta del 25 al 27 de noviembre fue anotada inicialmente en el mapa meteorológico de superficie de las 12.30 GMT del 24 de noviembre como una pequeña zona de bajas presiones que se desarrollaba sobre Carolina del Norte y Virginia occidental», comenzaba el resumen publicado en el número de noviembre de 1950 de *Monthly Weather Review*. [\[470\]](#) Durante las cuarenta y ocho horas siguientes, la perturbación creció hasta convertirse en la peor tormenta jamás registrada sobre Estados Unidos. En Coburn Creek, Virginia occidental, cayó más de un metro y medio de nieve. En Louisville, Kentucky, y en Nashville, Tennessee, se registró una temperatura mínima de 18 grados bajo cero, mientras que en Pittsburgh cayeron 76 centímetros de

nieve, obligando a interrumpir la actividad en la industria siderúrgica de dicha población.

«El modelo de dos dimensiones y media no captaba la ciclogénesis, [aunque] hubo algún vago indicio de que ocurría algo —informaría más tarde Charney—. De modo que pasamos a un modelo de tres niveles, es decir, un modelo de dos dimensiones y dos tercios, y así captamos la ciclogénesis. No resultó extremadamente preciso, pero no cabía duda de que [lo hicimos]. Y yo siempre pensé que aquello fue algo muy importante... ¡Quería que el mundo lo supiera!» [\[471\]](#)

La predicción acertada de veinticuatro horas, basada en una cuadrícula de 16 por 16 celdas de 300 kilómetros cada una a través de 48 pasos temporales de media hora cada uno, requería 48 minutos de computación. Según Charney, «durante este tiempo la máquina realizaba aproximadamente 750.000 multiplicaciones y divisiones, 10.000.000 sumas y restas, y ejecutaba 30.000.000 órdenes distintas». [\[472\]](#) Mientras trataban de simular el tiempo dentro del ordenador, los meteorólogos se veían acosados por el tiempo fuera de él. Las unidades de refrigeración York seguían estando sobrecargadas en el bochornoso calor de Princeton, y durante las tormentas la memoria de tubos Williams solía fallar. Un día muy caluroso de mayo hubo problemas con el equipamiento de tarjetas de IBM, y el diario de la máquina registra: «La máquina IBM vierte una sustancia parecida al alquitrán sobre las tarjetas». La siguiente entrada del diario lo explica: «El alquitrán es alquitrán del tejado». [\[473\]](#)

El plan de Charney de desarrollar una jerarquía de modelos cada vez más completa cobraba impulso. El 5 de agosto de 1952, Von Neumann presidió una reunión en el Instituto «para explorar las posibilidades de preparación rutinaria de pronósticos numéricos para el Servicio Meteorológico [nacional] y los servicios meteorológicos de la fuerza aérea y la marina». En septiembre de 1953, el Servicio Meteorológico, la fuerza aérea y la marina acordaron crear una Unidad Conjunta de Predicción Meteorológica Numérica, y en enero

de 1954 un Grupo Consultivo Técnico presidido por Von Neumann recomendó el uso de una IBM 701, cuyo alquiler se había presupuestado que ascendería a entre 175.000 y 300.000 dólares al año. [\[474\]](#) IBM entregó el ordenador a principios de 1955, y el primer pronóstico meteorológico operativo se realizó el 18 de abril.

En 1958 los pronósticos meteorológicos numéricos iban a la par que los manuales, pero en 1960 habían tomado ya la delantera. Partiendo de los iniciales pronósticos de veinticuatro horas, se fue produciendo una mejora de aproximadamente veinticuatro horas por década en la ampliación del alcance de los pronósticos. La cuestión para Von Neumann y Charney era: ¿y luego qué? «Von Neumann parecía pensar que el problema del pronóstico a corto plazo ya lo tenían bastante por la mano —recordaba Thompson—. Bueno, yo creo que tenía una opinión algo ingenua de lo lejos que habíamos llegado y lo lejos que todavía teníamos que llegar, pero él miraba hacia delante.» Von Neumann dividía el problema en tres «régimenes». En el primero, el régimen de corto alcance, lo que ocurre depende más de las condiciones iniciales que de las entradas y la disipación de energía posteriores. Dado el suficiente número de observaciones y la suficiente computación, las predicciones de corto alcance, del orden de entre unos días y una semana, son factibles. En el segundo, el régimen de alcance medio, más allá de una semana, las influencias se reparten cada vez más entre las producidas por las condiciones iniciales y las introducidas por las entradas y la disipación de energía, y su comportamiento resulta muy difícil, quizá imposible, de predecir. En el tercer régimen, el de largo alcance, «la atmósfera se olvida muy rápidamente del aspecto que tenía en un principio —en palabras de Thompson—, y su comportamiento está dominado casi completamente por los efectos integrados día a día de las entradas y la disipación de energía». [\[475\]](#) Con un conocimiento suficiente de dichas entradas y disipaciones, la tarea de predecir no el tiempo, sino el clima, [\[XVI\]](#) debería ser computacionalmente manejable, y Von Neumann y Charney, ahora con la colaboración de Norman

Phillips y Joseph Smagorinsky, decidieron que esa era la siguiente tarea que había que abordar.

En septiembre de 1954, Norman Phillips empezó a ejecutar un primitivo modelo de circulación general (el antepasado de todos los modelos climatológicos hoy utilizados) que permanecía estable hasta cuarenta días de tiempo simulado. Tal como lo describía Smagorinsky, «pese a la simplicidad de la formulación de fuentes y sumideros de energía, los resultados eran notables en su capacidad de reproducir los principales rasgos de la circulación general». Aunque los resultados se volvían irregulares y no lineales cuando se ejecutaba el modelo más allá de cuarenta días, Phillips y Charney creían que ello se debía a inestabilidades numéricas, no al modelo subyacente, y que, con una mejor codificación y un ordenador más potente, podía alcanzarse una auténtica predicción del clima. «El código agota casi por completo los recursos de la máquina actual —informaban—, habiendo únicamente alrededor de una docena de “palabras” que no se utilizan de toda la memoria combinada de Williams-tambor de 3.072 palabras.» En febrero y marzo de 1954, el modelo se ejecutó para treinta y un días y se reveló «sorprendentemente realista». Incluso se produjeron «fenómenos similares a los frentes frío y caliente del clásico ciclón de onda noruego». [\[476\]](#)

«Nuestro objetivo era establecer una teoría puramente física del clima, es decir, hacer el pronóstico infinito —le explicaría más tarde Charney a Stan Ulam—. Johnny previo que este sería un problema más sencillo que el de la predicción de largo alcance, ya que las propiedades estadísticas del movimiento probablemente iban a ser más correctas que los movimientos individuales.» Hoy sabemos que no resulta tan fácil como parecía entonces. «Él, por supuesto, siempre tenía en mente la modificación del tiempo a gran escala —añade Charney—. Pasamos muchos placenteros domingos por la tarde juntos inventando teorías sobre el clima, y tuvimos claro que no se podría hacer nada para explicar los climas del pasado o para sentar las bases

de la modificación climática hasta que fuéramos capaces de entender nuestro propio clima en términos puramente físicos.» [\[477\]](#)

Para poner en marcha el nuevo proyecto, Von Neumann y Charney organizaron en el Instituto una conferencia sobre la dinámica del clima los días 26 a 28 de octubre de 1955. Oppenheimer pronunció el discurso de apertura, trazando «un paralelismo entre esta conferencia, que trata de los problemas de la circulación general de la atmósfera terrestre, y la conferencia celebrada en Los Alamos, Nuevo México, como preparación para el trabajo sobre la bomba atómica». El resumen de sus observaciones señala que advirtió de que «el problema que afrontan los participantes en la conferencia actual —un problema que aborda la compleja dinámica de los movimientos atmosféricos— resulta mucho más difícil». [\[478\]](#)

Pero Von Neumann, por más que fuera un maestro a la hora de simplificar supuestos, se mostró realista con respecto a los obstáculos. «Aun en el caso de que estuviéramos suficientemente informados, la inclusión de la turbulencia y la radiación en las ecuaciones de predicción sería bastante complicada», anunció. Casi todos los fenómenos considerados eran inestables, y unas diferencias diminutas podían verse amplificadas y dar lugar a grandes efectos. «Por ejemplo, solo alrededor de 1/100.000 de toda el agua de la Tierra se halla en forma de vapor en la atmósfera, y sin embargo, la presencia de vapor de agua marca una diferencia de 40 °C en la temperatura media del planeta —observó—. Eso es más del doble de la diferencia entre la temperatura del momento de máxima glaciación y la del momento de desglaciación total de la Tierra.» [\[479\]](#)

Los veintinueve asistentes, aunque esperanzados sobre la posibilidad de realizar modelos de simulación del clima, reconocían que el problema era sumamente complejo. «Se consideró la teoría de que el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera ha ido en aumento desde el comienzo de la revolución industrial, y de que dicho aumento se ha traducido en un calentamiento de la atmósfera desde entonces —se informaba en las actas—.

Von Neumann cuestionaba la validez de esa teoría, declarando que hay razones para creer que la mayor parte del dióxido de carbono industrial introducido en la atmósfera debía de haber sido absorbido ya por el océano.»

El debate seguía abierto. [\[480\]](#)

Sigmund Frite, del Servicio Meteorológico estadounidense, «añadió que también hay que tener en cuenta los efectos de la flora». William von Arx, de la Institución Oceanográfica Woods Hole, «subrayó que el equilibrio depende de la capacidad de absorción del agua del mar», y señaló que «existe una cantidad significativa de dióxido de carbono atrapado en el ciclo del plancton». Charney preguntó sobre «la importancia estadística del resultado de Wexler de que se produce una actividad bloqueadora considerablemente mayor en los meses de enero cuando estos caen en períodos de actividad solar máxima que cuando lo hacen en los mínimos del ciclo de actividad solar». Von Neumann «consideró que debe de haber un tamaño mínimo de la banquisa que le permita perpetuarse» y «llamó la atención sobre el hecho de que los procesos que llevaron a períodos de glaciación y desglaciación debieron de ser relativamente constantes durante muchos siglos». Asimismo, preguntó «si hay alguna evidencia que sugiera que hubo una elevada actividad volcánica sostenida a lo largo de tales períodos de tiempo prolongados». [\[481\]](#)

«No es necesario —argumentaron Von Neumann y Charney— recurrir a explicaciones del cambio climático que requieran mecanismos externos como la actividad solar y la volcánica.» Richard Pfeffer, de la Universidad de Columbia, tras señalar que «la radiación absorbida por una masa unitaria de aire se mide como la pequeña diferencia entre dos grandes flujos», preguntó «si las mediciones actuales de la distribución del vapor de agua y la temperatura (las principales variables que determinan las características de radiación de la atmósfera) son lo suficientemente precisas como para determinar esa diferencia». Edward Lorenz, del MIT, subrayó, refiriéndose a los efectos de las nubes, que «sería necesario especificar, además de la

nubosidad media, el rango diurno... si las nubes aparecen de noche o durante el día». Para concluir, Von Neumann aconsejó que primero debían «tratar de determinar hasta qué punto puede modificarse el clima por mecanismos internos a través de procesos de retroalimentación no lineales» y «subrayó que el problema es complejo». [\[482\]](#)

Actualmente, la predicción del tiempo sigue estando dividida en los tres regímenes establecidos en 1955. El primer régimen, el de corto plazo, resulta predecible. Hoy se sabe que el segundo, el de medio plazo, es impredecible, tal como muchos sospechaban y pese a las esperanzas de Von Neumann. En cuanto al tercero, todavía es objeto de debate. «Creo que en aquella época éramos muy optimistas —dijo Charney—. Recuerdo que por entonces nos enteramos de que Norbert Wiener nos había tildado a Von Neumann y [a mí] prácticamente de *gonifs*, ladrones, afirmando que intentábamos engañar al mundo entero para que pensara que se podían hacer predicciones meteorológicas como si fuera un problema determinista. Y pienso que, en cierto aspecto fundamental, probablemente Wiener tenía razón.» [\[483\]](#)

Fue Edward Lorenz, un consultor del proyecto meteorológico del IAS, quien más tarde demostraría la impredecibilidad de la atmósfera (poco después de la muerte de Von Neumann). Abordando la cuestión desde otra perspectiva, Charney se preguntó: «Si la inteligencia matemática de Laplace fuera reemplazada por un computador de velocidad y capacidad ilimitadas, y si toda la atmósfera por debajo de los cien kilómetros fuera abarcada por una cuadrícula computacional cuyo tamaño de malla fuera menor que la escala del remolino turbulento más pequeño, digamos un milímetro... ¿se habrían resuelto los problemas de la meteorología?». [\[484\]](#) Y respondió que toda la predecibilidad se desvanecería en menos de un mes, «no a causa de la indeterminación cuántica, o ni siquiera debido a los errores macroscópicos de observación, sino porque los errores introducidos en los remolinos turbulentos más pequeños por fluctuaciones aleatorias en la escala del

recorrido libre medio (*circa* 10-5 milímetros al nivel del mar), aunque inicialmente muy pequeños, aumentarían de manera exponencial... El error progresa de 1 milímetro a 10 kilómetros en menos de un día, y de 100 kilómetros a escala planetaria en una semana o dos». [\[485\]](#)

En cuanto a si el clima resulta predecible —el «pronóstico infinito»—, el jurado sigue debatiendo. Los modelos son cada vez mejores, pero no hay ninguna forma real de ponerlos a prueba, salvo esperar. Von Neumann confiaba en que no solo el clima se volvería predecible, sino que también podría controlarse. Una vez identificados, sería fácil hacer inclinar los puntos de equilibrio hacia donde interesara. La verdadera crisis del cambio climático, para Von Neumann, no era si podemos o no controlar el clima, sino cómo decidir quién se sienta a los mandos. «Cuando el control del clima global devenga posible —advertía en 1955—, ello vendrá a fusionar los asuntos de cada nación con los de las demás, de manera más completa de lo que puedan haberlo hecho ya la amenaza de una guerra nuclear o cualquier otra.» [\[486\]](#)

Es posible que tanto Von Neumann como Wiener tuvieran razón. Wiener bien podría estar en lo cierto con respecto al clima tal como lo estaba con respecto a la predicción del tiempo a medio plazo, en cuanto que la atmósfera ya no puede tratarse como un sistema determinista más allá de aproximadamente treinta días. Y Von Neumann podría tener razón en el sentido de que, aun en el caso de que no pueda predecirse el clima, eso no significa que no pueda controlarse.

Imaginemos un futuro, combinando las visiones de Lewis Fry Richardson con las de Von Neumann, en el que la Tierra (incluidos la mayor parte de sus océanos) estuviera cubierta de turbinas eólicas inmersas en el flujo de impulso de la atmósfera y turbinas fotovoltaicas inmersas en el flujo de radiación del Sol. A la larga, un número suficiente de esas superficies absorbentes de energía y disipadoras de energía estarían conectadas a una red informática y eléctrica global integrada, formando, de hecho, la gran

cuadrícula laplaciana con la que soñaran Charney y Richardson. Cada celda de este sistema respondería de sus relaciones con sus vecinas, controlando si está nublado, o soleado, o ventoso, o tranquilo, y cómo puede esperarse que cambien esas condiciones. Acoplada directamente al flujo de energía real, físico, habría una red computacional que ya no sería un modelo, o que más bien lo sería en el sentido de Charney y Richardson de que la atmósfera constituye un modelo en sí misma.

Sin embargo, cualquier sistema planetario distribuido así, una vez que resulte lo suficientemente detallado, se volverá en sí mismo impredecible, exactamente igual que la atmósfera en la que se halla inmerso. Que el paisaje fotovoltaico esté absorbiendo o reflejando, y que los parques eólicos estén a plena carga, girando libremente o influyendo con pequeños toques en la atmósfera aquí y allá, puede de hecho, con el paso del tiempo, llegar a controlar el clima; pero el funcionamiento del modelo, y cómo va a comportarse este a una semana vista a partir del jueves, seguirá siendo algo tan misterioso como todavía lo es para nosotros un día parcialmente nublado.

«Un día, a principios de la década de 1950, Von Neumann, varios otros hombres y yo estábamos delante del edificio del Proyecto de Computador Electrónico en Princeton —recordaba Joseph Smagorinsky—, y Johnny, alzando la vista hacia el cielo, parcialmente nublado, preguntó: “¿Creéis que alguna vez seremos capaces de predecir eso?”.» [\[487\]](#)

* * * *

Capítulo 10

Montecarlo

Entre 1946 y 1955 cruzamos el país veintiocho veces en coche.

KLÁRI VON NEUMANN, 1963

«Estábamos en la Riviera, en Montecarlo, en el centro de gravedad de los jugadores empedernidos —recordaba Klári von Neumann, refiriéndose a una expedición de juego que hizo con Francis, su primer marido, en el período de entreguerras—. Cuando entramos en el casino, la primera persona a la que vimos fue a Johnny; estaba sentado en una de las mesas de ruleta que permitían apuestas más modestas con una gran hoja de papel y un montón no demasiado grande de fichas delante. Tenía un “sistema” y se mostró encantado de explicárnoslo; obviamente, el “sistema” no era infalible, pero implicaba larguísimos y complicados cálculos probabilísticos que hasta tenían en cuenta la posibilidad de que la ruleta no fuera “verdadera” (lo que en términos sencillos significaba que podía estar trucada).» [\[488\]](#) «Francis se fue a otra mesa —prosigue Klári—. Durante un rato estuve deambulando de un lado a otro, observando el demencial placer de gentes que se destruían a sí mismas; luego me fui al bar y me senté, deseando tener compañía mientras bebía algo. Mientras sorbía mi cóctel apareció Johnny.» Al experto en teoría de juegos se le había acabado la suerte en la mesa de la ruleta, y Klári, a quien se le estaba acabando la suerte en su primer matrimonio —«un absoluto desastre»—, tuvo que pagarle la bebida. «Yo era una chica rica, mi padre era muy rico, y Francis era un jugador empedernido; esto resume más o menos cuál era mi atractivo para él. Después de cuatro años de toda clase de problemas, nos divorciamos; mi padre me compró el divorcio.» [\[489\]](#)

Klára Dan nació el 18 de agosto de 1911, en el seno de una rica familia judía de Budapest. «Era la mocosa más mimada y consentida de un clan muy

extenso y estrechamente unido», afirmó, recordándose a sí misma como «una niña hermosa y absolutamente desagradable, que se dedicó a quejarse, gritar y berrear durante los primeros años formativos de la vida». Su padre, Charles Dan, industrial y financiero, sirvió como oficial en el ejército austrohúngaro durante la Primera Guerra Mundial, y sobrevivió al conflicto con relativa comodidad. Pero al final de la guerra «había una terrible confusión y huimos, recorriendo parte del camino a pie, a través de la frontera hasta Viena, escapando del terror comunista de Béla Kun». Tras escoltar a la familia a un lugar seguro, su padre volvió para unirse a la clandestinidad contrarrevolucionaria. «El recuerdo más fuerte y duradero de mi infancia —contó Klári— es el de estar al otro lado del puente viéndole regresar a lo que para entonces ya había comprendido que podía suponerle un grave peligro personal.» [\[490\]](#)

Con el derrocamiento del régimen de Béla Kun, Budapest entró en la época dorada de entreguerras. «La contrarrevolución liderada por el almirante Horthy tuvo éxito —escribió Klári—. Todos pudimos volver de nuevo a casa, y luego llegó la versión húngara de “los locos años veinte”.» [\[491\]](#) Klári se convirtió en campeona nacional de patinaje artístico a la edad de catorce años, antes de ser enviada a un internado a Inglaterra. Como los Von Neumann, su familia ocupaba una gran casa dividida en tres apartamentos, presidida por su abuelo materno y en la que había «una enorme terraza que podía dar cabida, y muy a menudo lo hacía, a más de cien personas para celebrar cenas u otros eventos». El jardín se dividía en una sección formal, prohibida a los niños, y una zona de vegetación silvestre y descuidada, prohibida a los adultos. «Esta línea de demarcación —añadió Klári— era la única separación entre niños y adultos en aquella casa feliz, que poco a poco se fue convirtiendo en el centro de la Budapest de los “locos años veinte”.» [\[492\]](#)

La familia entera se reunía con regularidad en la mesa del abuelo de Klári para cenar, a lo que a menudo seguía una celebración que duraba hasta bien

entrada la noche. «Poco después de la cena todos bajábamos, mi tío y mi tía y sus dos hijos al segundo piso, y mis padres, mi hermana y yo al tercero — explicó Klári—. Había una botella de vino y empezaba el palique. La mitad de las veces se hacía correr una segunda botella; muy pronto se mandaba llamar a una banda musical de gitanos, quizá se convencía a unos cuantos buenos amigos sacándolos de la cama, y no tardaba en montarse un *mulatsag* en toda regla.»

«Es absolutamente imposible traducir *mulatsag* con una sola palabra — subrayó Klári—. No es una fiesta, no es una comilona, no es ni siquiera una orgía; es simplemente la combustión espontánea de un puñado de gente pasándose bien. A las seis de la mañana se despedía a la banda, volvíamos a subir, nos dábamos una ducha rápida, y los hombres se iban a trabajar, los niños, a la escuela y las señoras con sus cocineros, al mercado.» [\[493\]](#)

El padre y el abuelo de Klári también dieron origen a una serie de tertulias celebradas los jueves por la noche, una vez al mes, en un club exclusivamente masculino llamado El Nido, en palabras de Klári, con «el loable objetivo de hacer que los hombres del mundo empresarial, financiero y político se reunieran con artistas, escritores y otros miembros de la comunidad literaria e intelectual». Cuando se decidió abrir aquellas reuniones —con su «efecto fertilizante en la extraordinaria producción de mentes creadoras de aquel país del tamaño de un pañuelo»— a las mujeres, el abuelo de Klári anunció «que la primera tertulia que incluyera a las damas había de celebrarse incuestionablemente en nuestra casa».

«Era sencillamente maravilloso —recordaba Klári—. Las tres casas quedaban patas arriba; se movían los pianos, se redistribuían los muebles... En un piso se cenaba, en otro había salas para los que quisieran charlar o jugar a las cartas, el tercero era para la música y el baile, y en las tres cocinas había una actividad constante durante al menos tres días.» No se hacía el menor intento de acostar a los niños. «Así, cuando tenía alrededor de trece años, y

durante muchos más después, llegué a conocer a la gente más interesante y apasionante de nuestra ciudad.» [\[494\]](#)

Klári adquirió un apetito social que la acompañaría durante toda su vida. «He conocido a mucha gente, a muchísimas personas —empiezan unas memorias que dejaría inacabadas a su muerte—, algunas de ellas mundialmente famosas y otras de las que nadie había oído hablar; patriarcas de familia, fulleros, antiguas y futuras reinas, asistentes y prostitutas, estadistas y políticos en la cúspide del poder, trabajadores del turno de noche y filósofos de bar, genios reconocidos y frustrados fracasados totales... Todo eso y mucho más.» Klári sufría depresiones, pero vivía la vida al máximo. «Era el espíritu de una afectuosa conspiración con los amigos que la rodeaban frente a lo que —si yo lo captaba correctamente— se percibía como la indiferencia y quizá incluso la malevolencia del destino —escribió el físico John Wheeler dos semanas después de la muerte de Klári—. El espíritu de lucha contra lo que podría parecer un negro destino, pero que, no obstante, podía ser derrotado.» [\[495\]](#)

Tras su divorcio de Francis, Klári se casó con un respetable banquero sin afición al juego. «Hacíamos las cosas adecuadas en el momento adecuado, y teníamos una casa que iba sobre ruedas donde dábamos las fiestas apropiadas con los intervalos de tiempo pertinentes —escribió Klári—. Él era un marido amable, tierno y atento —también tenía dieciocho años más que yo—, y yo me aburría soberanamente.» Entonces, en agosto de 1937, Johnny, que se acercaba al final de su primer matrimonio, se puso en contacto con ella durante su acostumbrada visita estival a Budapest.

«Empezamos a entablar un contacto telefónico que pronto dio paso a encuentros en cafés donde charlábamos durante horas, solo charlábamos y charlábamos —recordaba Klári—. Ambos estábamos muy interesados en la política y nos gustaba realizar predicciones detalladas del sombrío futuro (la evaluación de Johnny del modo en que evolucionarían las cosas resultó asombrosamente acertada... y aún me estremece la exactitud de algunos de

sus pronósticos). Hablábamos de eso, y de historia antigua, y de las probabilidades de ganar a la ruleta. Nos contábamos historias no del todo limpias y poemillas que ideábamos entre nuestras maratónicas sesiones de conversación; hablábamos de las diferencias entre Estados Unidos y Europa, de las ventajas de tener un pequeño pequinés o un gran danés...» [\[496\]](#)

El 17 de agosto se despidieron en la estación de ferrocarril de Kelenfold, desde donde Johnny partió hacia Viena, Colonia, París y Southampton, para zarpar desde allí el día 20, a bordo del transatlántico *Georgic* de la Cunard, rumbo a Nueva York. Johnny estaba de regreso en Nueva York el 29 de agosto, mientras que Mariette (que también había pasado el verano en Europa) llegó en el *Queen Mary* el 7 de septiembre. A continuación siguió un frenesí de cartas y telegramas, enviados a través de intermediarios tanto en Princeton como en Budapest. «Resultaba perfectamente claro que estábamos hechos el uno para el otro —dijo Klári—. Nuestras cartas se volvieron cada vez más y más largas. Y, por supuesto, sucedió lo inevitable. Le dije a mi amable y comprensivo papámarido, con bastante franqueza, que nada que él ni nadie pudieran hacer podría reemplazar a la inteligencia de Johnny.» [\[497\]](#)

Mariette, con su hija Marina, que por entonces tenía dos años, tuvo que seguir el ritual típicamente estadounidense de pasar seis semanas en el desierto de Nevada para obtener un divorcio. «Creo que seguramente el Infierno es muy parecido a ese lugar —escribía desde el hotel Riverside de Reno el 22 de septiembre—. Esto es indescriptible, todo el mundo está borracho a todas horas y pierden el dinero como locos, quinientos o seiscientos dólares al día, la mesa de la ruleta está en la sala como lo haría una escupidera en otro sitio... ¿Cómo estás, amor?, ¿cómo es el apartamento?, ¿cómo vives?, ¿y me quieres un poquito? Escríbeme sobre todo eso con detalle. Tengo una depre de caballo.» [\[498\]](#)

Al día siguiente, Mariette recorrió los 56 kilómetros que la separaban de un alojamiento en un rancho de Pyramid Lake, donde la temporada de divorcios tocaba a su fin. «Johnny, amor —escribía desde allí—, esto es una absoluta

locura, y no me sentiría tan deprimida si no tuviera que estar aquí durante seis semanas, creo que no sobreviviré. Vivo en medio de una reserva india... y el campo es tan divino que resulta difícil de imaginar... Montar a caballo es muy hermoso, pero las tardes son mortales, imagínate cenar a las seis y la noche dura hasta las diez.» [\[499\]](#)

Con el certificado del divorcio concedido por el condado de Washoe, Mariette volvió de Nevada a primeros de noviembre, y el 25 del mismo mes, en el Tribunal Municipal de Washington, se casaba con el físico experimental J. B. Horner (Desmond) Kuper, un antiguo alumno de posgrado en Princeton de Eugene Wigner que había realizado importantes contribuciones al desarrollo del radar durante la guerra. Posteriormente, tanto Mariette como Desmond Kuper ocuparían sendos puestos en el Laboratorio Nacional Brookhaven de Long Island, el nuevo laboratorio nuclear de la Costa Este que Frank Aydelotte había sugerido antaño que podría emplazarse en el Instituto Woods. Johnny y Mariette siguieron siendo buenos amigos, y su hija, Marina, repartiría su tiempo entre las dos familias mientras crecía.

El 11 de noviembre, Klári envió un cable desde Budapest que rezaba: «Tres hurras, adivina por qué». [\[500\]](#) Johnny, ahora soltero, le sugirió ir a Europa a pasar las Navidades, y el 17 de noviembre Klári mandaba un nuevo cable manifestándole su aprobación. Mientras tanto, Johnny le envió una serie de propuestas formales por correo. El 9 de noviembre le hizo una «oferta directa», y el 12 del mismo mes pidió permiso para informar a la madre de ella. El 16 envió una «oferta directa, detallada», que repitió el 19. El 30 envió una cuarta propuesta, que Klári recibió el 9 de diciembre, y a la que respondió el 13 de diciembre con un nuevo cable que rezaba: «No te preocupes cariño, firme como una roca, propuesta aceptada con entusiasmo». El 23 de diciembre hubo un nuevo cable de Klári: «Feliz Navidad, feliz navegación a tu amoroso futuro».

Tras decirle a todo el mundo, incluidos sus hermanos, que zarpaba rumbo a Southampton a bordo del *Aquitania* el 23 de diciembre, en realidad Von

Neumann embarcó en el *Normandie*, rumbo a El Havre, el 26 del mismo mes. «Lo que uno comprende en el momento en que, en realidad de verdad, es gobernado absolutamente por sus propias emociones...», empezaba una carta de 2.400 palabras escrita (en su mayor parte en húngaro) a bordo del barco. «¡Apenas 475.200 segundos!», anotaba el 28 de diciembre, el día de su trigésimo cuarto cumpleaños, calculando el tiempo que le faltaba para llegar a Budapest. Tras realizar una breve escala en Southampton, el *Normandie* llegó a El Havre el 31 de diciembre. Von Neumann cogió un tren directo a París el día de Nochevieja, y el día de Año Nuevo de 1938 partió de París con destino Budapest a bordo del *Orient Express*.

El 24 de enero, Johnny estaba de nuevo en París, de regreso a Estados Unidos. Por su parte, Klári iba camino de la Riviera italiana, donde se alojó en el Savoy de San Remo, para cablegrafiarle el 2 de febrero desde Montecarlo: «Se lo he dicho a padre con el mejor resultado». Von Neumann tenía la intención de volver a Budapest cuanto antes para rescatar a Klári de la tormenta que se abatía sobre Europa, y el 22 de abril le explicaba a Stan Ulam que «ahora mis "planes futuros" los conocen todos aquellos a quienes afecta el asunto, aquí y en Budapest». ^[501] Austria había sido absorbida en el Reich alemán por el *Anschluss* del 12 de marzo, y nadie daba un céntimo por lo que podía ocurrir a continuación.

Las cosas se pusieron cada vez más complicadas, sobre todo a causa del divorcio de Klári, dado que la fecha prevista para que el tribunal dictara sentencia se pospuso hasta el 23 de septiembre. Klári y Johnny tenían que haberse casado rápidamente en Budapest para que ella obtuviera los papeles de inmigración a Estados Unidos, pero las autoridades húngaras se negaban a reconocer la validez del divorcio de Johnny emitido en Reno, lo que requería otra apelación más a un tribunal distinto. Además, para obtener el visado de Klári, Johnny tenía que renunciar a su ciudadanía húngara, lo que requería primero una petición al gobierno húngaro y luego la certificación de ese hecho a Estados Unidos.

Von Neumann tiró de todos los hilos disponibles —en Nueva York, Washington, Londres y Budapest—, mientras Abraham Flexner hacía todo lo posible por ayudar. «En su vasta experiencia ayudando a gente a entrar y salir de países había aprendido que, cuanto más importante era la persona, mayores eran los impedimentos burocráticos —contó Klári—, y, sin embargo, nunca había visto tal lío.» [\[502\]](#) Johnny empezó a perder su habitual buen carácter, y Klári empezó a pensarse dos veces si de verdad deseaba casarse por tercera vez. Ella se retiró a Abbazia, el lujoso centro turístico austrohúngaro situado a orillas del Adriático, y Johnny, después de perseguirla por el sur de Europa a bordo de trenes cuyos horarios comenzaban a verse perturbados por los movimientos de tropas, se dirigió al norte del continente, a Estocolmo y Copenhague, donde, como huésped de Niels y Harald Bohr, pudo reordenar y recomponer sus ideas. Trató de sondear a Klári, escribiéndole para decirle, con su característica y persistente lógica, que debían continuar con lo que habían planeado y ser libres para irse «lejos de este infernal y pestilente agujero de Europa, muy lejos». [\[503\]](#)

Por primera vez, Johnny tenía dificultades para prestar atención a su trabajo, y alternaba su tiempo entre seguir las noticias internacionales, hora a hora, y tratar de tranquilizar a Klári, no solo respecto a sus aptitudes como esposo, sino también en cuestiones prácticas, como el temor de ella al antisemitismo de Estados Unidos. Le explicó que este país debía mantener unas cuotas de inmigrantes, lo que en la práctica excluía a los judíos, a fin de aplacar «al estadounidense de a pie» y evitar «reacciones peligrosas», mientras que, «dentro de dichas cuotas, son bastante liberales». En su opinión, los servicios de inmigración «se comportaban de manera filosemita, ya que esta administración es exactamente eso». [\[504\]](#)

El año 1938 no era todavía como lo sería 1939, pero poco faltaba. «Los trenes alemanes que parten de Dresde están llenos de soldados —había anotado Von Neumann en su camino hacia el norte, pasando por la Berlín donde diez años antes había iniciado su carrera matemática—. La

movilización no trastoca los horarios. Hasta ahora los trenes son rápidos y puntuales. He observado Berlín con gran atención. Puede que sea la última vez.» Luego visitó Lund y Estocolmo, con la intención de ir directamente de Suecia a Cambridge para reunirse con P. A. M. Dirac, cuando Niels Bohr le invitó a volver a Copenhague y alojarse en su finca privada, la antigua residencia de J. C. Jacobsen, fundador de la cervecería Carlsberg. «Parece que quiere hablar de algunas conexiones entre la teoría cuántica y la biología —le informaba Johnny a Klári—. Por qué precisamente conmigo es algo que no sabría decir, pero probablemente sea porque yo no soy biólogo.» [\[505\]](#)

«¡De nuevo en Copenhague! —Escribía el 18 de septiembre—. Los hermanos Bohr vinieron a buscarme al muelle, y ahora estoy instalado en el palacio privado de Niels Bohr. He mantenido numerosas conversaciones con los Bohr y la señora Bohr, obviamente en su mayor parte políticas; pero incluso logramos hablar durante una hora y media sobre “la interpretación de la mecánica cuántica”. Estoy seguro de que ambos estuvimos fanfarroneando, los dos: haciendo alarde de que en septiembre de 1938 somos capaces de preocuparnos por la física. Es todo como un sueño, un sueño de un tipo peculiarmente demencial... los Bohr discutían, acerca de si Checoslovaquia debía ceder y de si hay alguna esperanza para la causalidad en la teoría cuántica.» [\[506\]](#)

El divorcio de Klári se pospuso nuevamente, esta vez a finales de octubre, al tiempo que también la guerra se posponía gracias a las concesiones que el primer ministro británico, Neville Chamberlain, hizo a Hitler en Munich el 29 de septiembre. Klári y Johnny finalmente se casaron en Budapest el 18 de noviembre y pudieron obtener el visado que permitiría a Klári partir hacia Estados Unidos, aunque no sin pasar antes por una crisis de última hora, cuando los húngaros le retiraron el pasaporte por haberse casado con un estadounidense y los estadounidenses se encontraron con que no podían emitir el visado sin un pasaporte en el que estamparlo. Los horrores de la

Noche de los Cristales Rotos, el 9 de noviembre, fueron un atisbo del destino que aguardaba a quienes no pudieran escapar.

La pareja partió de Budapest hacia París en el *Orient Express*, dirigiéndose luego a El Havre para embarcar en el *Normandie*, que tenía previsto zarpar rumbo a Nueva York el 6 de diciembre. El Havre, sin embargo, estaba paralizado por una huelga de los astilleros, de modo que, como alternativa, los Von Neumann se las arreglaron para cruzar el canal y zarpar desde Southampton en el *Queen Mary*. «Con una bocanada de la chimenea de aquel palacio flotante a modo de despedida, abandoné Europa para siempre —escribió Klári—; al menos la Europa que yo conocía.»

Los Von Neumann dejaron Europa con un inquebrantable odio a los nazis, una creciente desconfianza hacia los rusos y la determinación de no volver a permitir jamás que el mundo libre cayera en una posición de debilidad militar que obligara a la clase de compromisos que se habían alcanzado con Hitler mientras la maquinaria de guerra alemana iba ganando fuerza. Johnny reemplazó el sentimiento de pérdida por una pasión por Estados Unidos y todo lo que sus fronteras abiertas venían a representar. «Le gustaban los espacios totalmente abiertos», contó Oskar Morgenstern. [\[507\]](#)

«En cuanto atravesamos el canal y el encrespado mar de Irlanda y salimos al océano, Johnny se convirtió en un hombre completamente distinto —escribió Klári—. Por primera vez desde que dejara Estados Unidos, se sentía en forma, deseoso y capaz de trabajar en sus matemáticas. Participaba con entusiasmo en los diversos eventos, y cuando parecía estar más absorto en las carreras de caballos, el bingo o charlando con otro pasajero superviviente, cogía subrepticamente un pedazo de papel, lo que tuviera a mano, desde una servilleta de papel hasta la contraportada de una revista o el margen de un periódico, y garabateaba unas pocas líneas.» [\[508\]](#) Por la mañana temprano, cuando nadie más estaba despierto, redactaba sus notas en su forma definitiva.

El 18 de diciembre los recién casados llegaron a Nueva York, donde Klári se sorprendió al constatar que «hasta el funcionario de aduanas dijo unas palabras en húngaro». Johnny reservó una habitación en la «planta veintitantas» del hotel y casino Essex, situado en el número 160 de Central Park South, donde acumularon una factura lo bastante abultada como para que el responsable de crédito se decidiera a escribir al Instituto de Princeton —que la pareja había dado como referencia crediticia— para confirmar su «conocimiento del nivel financiero y la responsabilidad crediticia de esta persona, lo cual, obviamente, será estrictamente confidencial». [\[509\]](#)

«No fue hasta ver desde las ventanas de nuestra elevada habitación tanto el centro de la ciudad como Central Park con las luces encendidas en el crepúsculo invernal sobre Manhattan —escribió Klári— cuando comprendí que realmente había llegado a una tierra distinta.» La tarde siguiente cogió el tren hacia Princeton, cuyos rígidos protocolos sociales encontró que tenían muy poco que ver con los de la despreocupada Budapest. Johnny desapareció en un desvío para atender un «importante asunto» en Trenton; Klári se enteraría más tarde de que consistía en comparecer ante un tribunal «para alegar los motivos por los que su permiso de conducir no debía ser revocado».

El Instituto estaría cerrado por las vacaciones de invierno hasta el 1 de febrero, lo que dejaba a Von Neumann sin más responsabilidades que dar una charla en la reunión invernal de la Sociedad Matemática Estadounidense, que iba a celebrarse en Williamsburg, Virginia. Compró un coche nuevo, un Cadillac V-8 cupé, para desplazarse a la reunión y luego viajar hacia el sur, a través de los Everglades, hasta Cayo Hueso. Su primera parada fue Washington, donde se alojaron en el hotel Shoreham, mientras Von Neumann atendía una serie de asuntos personales relacionados con el gobierno, entre ellos un infructuoso intento de apelar su rechazo por parte del ejército de reserva. «Johnny era un hombre extraño, incongruente y contradictorio —señaló Klári al hablar de este episodio—, con tantas facetas

en su personalidad como personas creían conocerle y entenderle.» Los Von Neumann también hicieron una visita de cortesía a Mariette y su nuevo marido, precipitando, en palabras de Klári, «una crisis a la que seguirían otras similares durante muchos muchos años». La inseguridad de Klári siempre estaba bastante a flor de piel, y era fácil de provocar. Johnny y su ex esposa «no dejaron de jugar a una especie de apego y desapegado, o viceversa, lo que cuadre mejor». [\[510\]](#)

A su regreso de Florida, los Von Neumann se establecieron en una casa situada a unos tres kilómetros del Instituto, en Westcott Road. Las fiestas de Klári llegarían a ser legendarias, sobre todo cuando llegaron los ingenieros del proyecto del ordenador para animar más las cosas. «Klári von Neumann preparaba un ponche *fish house* [\[XVI\]](#) que era muy potente, de modo que las fiestas se volvían muy relajadas y... esto... alegres, a medida que avanzaba la velada —recordaba Willis Ware—. Fue después de una de aquellas fiestas cuando James Pomerene y Nick Metrópolis, de Los Alamos, condujeron su coche marcha atrás por todo Princeton. Pero los polis de Princeton estaban tan acostumbrados a tratar con estudiantes que se tomaban esas cosas con bastante calma.» [\[511\]](#)

Princeton fue muy duro con Klári, que se mostraba reacia a adoptar el papel de esposa de un académico. Hizo una última visita a Europa, para rescatar a sus padres, resolver lo que pudo de los asuntos familiares y volver loco a Johnny, que la veía pisar terreno peligroso. «¡Por Dios, no vayas a Pest —le escribió este desde Montreal el 10 de agosto de 1939—, y deja Europa a comienzos de septiembre! ¡Va en serio!» [\[512\]](#) Los padres de Klári llegaron a Princeton al estallar la guerra, pero su padre, que estaba muy abatido, se arrojó debajo de un tren en las Navidades de 1939. Las depresiones de Klári se agudizaron, y más tarde les confesaría a los Rosenberg que creía que también ella acabaría suicidándose. «Decía que debía de ser congénito», afirmó Jack Rosenberg. [\[513\]](#)

Von Neumann era sociable, pero de una manera superficial. «Me pregunto cómo Klári lograba vivir con él», dijo Robert Richtmyer. «Algunas personas, sobre todo mujeres, lo encontraban falto de curiosidad por los sentimientos subjetivos o personales, y quizá deficiente en cuanto a desarrollo emocional —señaló Stan Ulam—. Lo cierto es que las mujeres le interesaban, aparentemente, de un modo peculiar... Sobre las mujeres en general, en cierta ocasión me dijo: “No es que hagan demasiado”.» Klári, agregó Ulam, «era una mujer muy inteligente y muy nerviosa, que tenía el profundo complejo de que la gente solo le prestaba atención porque era la esposa del gran Von Neumann, lo cual, obviamente, no era verdad». [\[514\]](#)

Klári encontraba a Johnny exasperantemente equilibrado, y en sus cartas se aficionó a dirigirse a él como «señor». Parecían orbitar uno alrededor del otro, y raras veces estaban en el mismo lugar, aunque fuera por poco tiempo. «Ella era una muchacha muy agradable y extravertida, pero no resultaba fácil llegar a Johnny», contó Rosenberg. «Yo nunca le vi perder los papeles —dijo Marina—, excepto quizá dos o tres veces. Klári sabía cómo pincharle hasta que finalmente explotaba.» [\[515\]](#) Poco a poco, Klári fue buscando cada vez más momentos de soledad. «La carta era hermosa como solo las tuyas pueden serlo, pero ¿por qué siempre tienes que expresarlo en cartas? —Escribió durante un intento de reconciliación tras una pelea en 1949—. Quizá seas simplemente tan soñador como yo, y cuando no estoy presente todavía me ves tal como imaginabas que era en 1937, cuando volviste a Estados Unidos.» [\[516\]](#)

Estas tensiones se vieron exacerbadas por las cada vez más numerosas ausencias de Von Neumann del hogar familiar. Un creciente número de organismos militares y laboratorios nacionales solicitaban sus servicios, y él parecía incapaz de decir que no. Cuando él y Klári viajaban juntos las cosas iban mejor, y sus momentos más felices fueron en la carretera, la versión estadounidense de la vida en el barco. La reputación de Von Neumann de no querer ir en avión tenía que ver más con su afición a conducir y a viajar en

tren que con el miedo a volar. En 1940 le invitaron a dar una serie de conferencias en homenaje a John Danz en la Universidad de Washington en Seattle. Dado que nunca había estado al oeste de Chicago, decidió ir en coche, llevándose consigo a Klári y tomando la Ruta 66.

Partieron de Princeton en mayo para iniciar el recorrido por Estados Unidos. Europa sucumbía día a día al avance nazi, y el viaje hacia el oeste alternó la exploración de las carreteras secundarias de la Norteamérica anterior a las autopistas interestatales con la búsqueda de poblaciones con periódicos o emisoras de radio que les permitieran ponerse al corriente de los acontecimientos del día. «Johnny insistía en escuchar casi todos los programas de noticias que se emitían —señaló Klári—. Pasaba horas sentado en el coche.» Su trayecto vino determinado en parte por los acontecimientos en Europa y, en parte, por el paisaje del Oeste estadounidense. «Holanda era invadida el día después de nuestra llegada a Denver, y no tuvimos más que quedarnos en una ciudad que tenía ediciones extraordinarias de periódicos y emisiones radiofónicas continuas para poder seguir el curso de los deprimentes acontecimientos —explicó Klári—. Para cuando se hubieron iniciado las negociaciones para la rendición de Bélgica, nosotros ya habíamos llegado a Nevada.» Johnny se sintió cautivado. «Si no hubiera estado tan preocupado por las noticias, que no dejaban de empeorar, ese viaje lo habría convertido en un geólogo», explicó Klári.

De vez en cuando la tormenta se disipaba. En alguna parte de Nevada, «un hombre con una hermosa y larga barba, que llevaba unos vaqueros desgastados, ató su mula de carga al amarradero, luego se subió a la otra, que era su montura, y entró en el bar donde nosotros nos consolábamos —escribió Klári—. Nadie parpadeó. El camarero le dio al hombre un vaso de cerveza y colocaron un cubo del mismo brebaje delante de la mula. La escena entera se desarrolló en silencio; parecía algo completamente rutinario. El hombre pagó, él y su bestia terminaron de beber, y luego abandonaron tranquilamente el local». [\[517\]](#)

Tras visitar Las Vegas, donde había solo «unos cuantos garitos sórdidos que abastecían sobre todo a los trabajadores que estaban allí para construir la presa de Boulder», «deambularon por el sudeste, visitando parques y monumentos nacionales», y pasaron por Santa Fe, Nuevo México, sin detenerse («de repente a Johnny le entraron las prisas por ver el Gran Cañón») y sin tener premonición alguna de cuan profundamente llegaría a afectar a sus vidas la cercana meseta de Los Alamos en los años venideros.

[\[518\]](#) En la primavera de 1940 apenas se atisbaba la posibilidad de fabricar armas nucleares. La noticia del descubrimiento de la fisión, a finales de 1938, había llegado a Princeton junto con Niels Bohr a comienzos de 1939, planteando por primera vez la posibilidad real —ya objeto de especulación— de fabricar una bomba atómica.

Temiendo que la advertencia formulada al presidente Roosevelt en agosto de 1939 por Albert Einstein y Leo Szilárd (que en 1934 habían solicitado una patente de explosivos nucleares) no fuera tomada en serio, Von Neumann elevó la alarma. «El físico holandés P. Debye, el que fuera director del Instituto de Física de la Sociedad Kaiser Guillermo de Berlín (que cuenta con el respaldo de la Fundación Rockefeller), ha sido enviado al extranjero por las autoridades alemanas a fin de liberar a su instituto para una tarea bélica secreta —le escribía a Frank Aydelotte en marzo de 1940, en una carta que firmaba también Veblen—. Cuando uno de nosotros se encontró con él en una cena la otra tarde, no se esforzó por ocultar el hecho de que dicha tarea es esencialmente un estudio de la fisión del uranio. Se trata de un proceso nuclear explosivo que teóricamente es capaz de generar una cantidad de energía entre diez mil y dos millones de veces mayor que el mismo peso de cualquier combustible o explosivo conocido.» Señalando que había depósitos considerables de uranio en Bohemia y Canadá, Von Neumann y Veblen advertían de «que las autoridades nazis esperan conseguir, o bien un terrible explosivo, o bien una fuente de energía muy compacta y eficiente», y añadían que se estaba reuniendo a destacados físicos nucleares y teóricos

alemanes bajo la dirección de Werner Heisenberg en Berlín, «pese al hecho de que la física nuclear y teórica en general, y Heisenberg en particular, estaban bajo sospecha, ya que a la física nuclear se la consideraba “física judía” y a Heisenberg, un “judío blanco”». [\[519\]](#)

«No habría que dejar el asunto en manos de los gánsteres europeos», advertían. Reconociendo que «se ha hecho algún esfuerzo, no del todo fructífero, para recabar la ayuda del gobierno de Estados Unidos», instaban a Aydelotte a someter la perspectiva de una bomba atómica («algo que tenemos en mente desde hace varios meses, sin saber qué hacer al respecto, en el caso de que se pueda hacer algo») a la atención de la Fundación Rockefeller, «que estaría en posición de actuar de una manera sencilla y directa». [\[520\]](#) La fundación respondió con fondos de emergencia para ayudar a poner discretamente a salvo a físicos nucleares europeos clave —entre ellos Wolfgang Pauli y los hermanos Niels y Harald Bohr— en Inglaterra y Estados Unidos. Cuando se inició el Proyecto Manhattan, en 1942, se disponía ya del talento crítico para ello.

Estados Unidos entró finalmente en la guerra en diciembre de 1941. «Por fin [Johnny] podía descargar la bilis —afirmó Klári—. Al mismo tiempo, también utilizaba esa excusa patriótica, perfectamente honorable, para sacudirse el yugo autoimpuesto de las matemáticas puras y entrar en otros ámbitos más aplicados, con los que mantenía un secreto romance desde mucho antes de que admitiera abiertamente su interés cada vez mayor en ellos.» [\[521\]](#) Von Neumann nunca volvería a trabajar en matemáticas puras.

Klári se quedó embarazada, y la habitual frase de despedida de Johnny en sus cartas a los Ulam —«de casa en casa»— fue modificada para incluir: «El más afectuoso saludo de parte de nosotros dos y de $(^{[1]}/_2)^{[2]}$ desconocido». El 16 de junio de 1942, Klári, que por entonces tenía treinta y un años, sufrió un aborto, al tiempo que Johnny se ausentaba cada vez más de Princeton debido a tareas relacionadas con la defensa. Su misión en Gran Bretaña en nombre de la marina, a comienzos de febrero de 1943, era a la vez secreta

en sus objetivos e indeterminada en su duración. Todas las comunicaciones estaban censuradas. El 13 de abril de 1943, Johnny le envió un cable a Klári desde Londres que rezaba: «Felicidades por estadísticas muy impresionado. *Stop*. Boske de visita aquí todo muy bien te quiero mucho». Pero el telegrama fue interceptado. «Por favor, tenga la amabilidad de proporcionar a esta oficina una explicación completa del texto de este mensaje», le requirió la Oficina de Censura. [\[522\]](#)

Fuera por la razón que fuese, el caso es que la correspondencia de Von Neumann perdió su tono apasionado. «El nuevo estilo monótono de tus cartas me enfurece —le escribía Klári el 15 de mayo de 1943—. ¿Qué demonios te pasa?» Durante la guerra, Klári había aceptado un empleo a tiempo completo en la Oficina de Investigación Demográfica de la Universidad de Princeton, bajo los auspicios de la Fundación Rockefeller y la Escuela Woodrow Wilson. Allí, el grupo de investigación demográfica de Frank W. Notestein estaba examinando tanto las tendencias históricas de la población humana como una serie de hipotéticos «¿qué pasaría si...?»; por ejemplo, ¿qué les pasaría a una Europa de posguerra re configurada, a una Unión Soviética centralmente planificada o al proyectado Estado judío en Oriente Próximo? Klári no tardó en ser ascendida, y en 1944 se le ofreció un puesto académico, que ella rechazó.

En julio se ordenó a Von Neumann volver de Inglaterra, y a continuación empezó a desaparecer en circunstancias cada vez más secretas que le llevaron, en septiembre, a Los Álamos, donde el Proyecto Y ya estaba en marcha. Cuando no estaba en Los Alamos en régimen de residencia, pasaba la mayor parte del tiempo en la Costa Oeste, aunque de vez en cuando volvía a Princeton y hacía visitas regulares a Chicago, Oak Ridge, Filadelfia, Aberdeen y Washington. En Los Álamos podía conseguir cigarrillos —preferentemente Lucky Strike— en el economato militar, parte de los cuales guardaba para dárselos a Klári en Princeton. «Siempre que venía a casa, por regla general nos pasábamos casi toda la noche hablando —recordaba Klári—

, y la tensión acumulada le salía en forma de un torrente de palabras que, como norma, se guardaba estrictamente para sí mismo.» [\[523\]](#)

El 19 de octubre de 1943, el Instituto añadió una cobertura adicional por «actividades muy peligrosas» a la póliza de seguros de Von Neumann en virtud de su contrato con la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico, lo cual delataba que se estaba tomando un interés más que teórico en la investigación armamentística. Cuando se anunció la rendición de Alemania, estaba en misión de campaña en Los Álamos, y pasarían doce horas antes de que tuviera conocimiento de la noticia. «Bueno, se ha terminado —le escribí a Klári a la mañana siguiente—. ¿Cómo te sientes?» La situación de los cigarrillos mejoró, y los científicos siguieron trabajando en la bomba. «Desde el 3 de mayo, inclusive, me estoy fumando una media de alrededor de dos paquetes de Lucky al día —le escribí a Klári el 11 de mayo—. ¿Qué te parece?» [\[524\]](#)

Los seis meses siguientes comportaron una actividad intensa: la prueba Trinidad, Hiroshima, Nagasaki, la rendición de Japón y, entre bastidores, la finalización del ENIAC, los primeros cálculos de la bomba H y el inicio del proyecto de ordenador del IAS. «El contacto con una máquina tan maravillosa —recordaría Nicholas Metropolis en relación con su primera visita de reconocimiento al ENIAC—, seguido en breve de la experiencia de Alamogordo, resultaban tan singulares que era difícil atribuir algo de realidad a cualquiera de las dos cosas.» El mismo día en que se lanzaba una copia de la bomba Trinidad sobre Nagasaki, Edward Teller cablegrafaba a Von Neumann a Princeton: «Ahora Stan y Nick pueden decir abiertamente que vienen de Los Álamos». [\[525\]](#) Stan (Frankel) y Nick (Metrópolis) se hallaban ya en el Instituto de Estudios Avanzados para empezar a preparar los primeros códigos de la bomba H.

Von Neumann estaba pensando ya en la próxima guerra y en si esta se iba a librar con armas nucleares en ambos bandos. «La fecha de la próxima guerra probablemente vendrá determinada por el tiempo que tarden los procesos

conscientes y subconscientes del pueblo estadounidense en entrar en equilibrio mutuo —le escribió a Klári en octubre de 1946—. No creo que sean menos de dos años, y desde luego creo que serán menos de diez.» [\[526\]](#)

Hacia tiempo que creía que la Rusia soviética se revelaría como una amenaza mayor que Alemania o Japón. «Cuando las tropas occidentales se detuvieron y hasta se retiraron para dejar a los rusos avanzar más profundamente en Alemania, Johnny se sintió desesperadamente consternado —explicó Klári—. Su idea era que los aliados occidentales no deberían haberse detenido hasta entrar en Rusia y abolir de un plumazo cualquier forma de gobierno peligrosa o potencialmente peligrosa que pudiera conducir a otra guerra. En los primeros años de la posguerra, Johnny abogaría bastante abiertamente por una guerra preventiva antes de que los rusos se volvieran demasiado fuertes.» [\[527\]](#)

Klári visitó Los Alamos por primera vez en las Navidades de 1945. Se dirigió hacia el oeste en ferrocarril desde Princeton pasando por Chicago, donde tomó el célebre tren de pasajeros *Super Chief*. «Te esperaré en Lamy el sábado por la mañana —le cablegrafió Johnny el 15 de diciembre—. Trae cosas de equitación y patinaje si es posible muy buenas ocasiones.» [\[528\]](#)

Fue un amor a primera vista: las montañas, la equitación, el esquí, las ruinas de los indios pueblo en Bandelier, el alojamiento en la antigua Escuela Masculina de Los Alamos (donde Johnny, como VIP, tenía derecho a hospedarse), el predominio de europeos (entre ellos húngaros), las fiestas frecuentes y espontáneas, las partidas de póquer hasta altas horas de la noche... Todo ello le evocaba recuerdos de Montecarlo y Budapest. Los Alamos tenía todo lo que le faltaba a Princeton. Resurgió la chispa entre Klári y Johnny, y ambos empezaron a colaborar en los códigos que animarían al nuevo ordenador y que darían vida a la superbomba.

«El nuevo instrumento matemático no era el único experimento que Johnny quería probar en ese sentido —recordaba Klári—. También quería ver cómo alguien que no tuviera ninguna o muy poca experiencia en ese campo, cómo

una persona así abordaba aquel nuevo modo de hacer matemáticas. Para ese experimento necesitaba un conejillo de Indias, preferentemente una persona lerda en matemáticas, y no cabía duda de que para ese propósito el sujeto ideal estaba justo a su alcance: era yo.» Klári había aprobado sus exámenes de álgebra y trigonometría en el instituto, pero solo porque «mi profesor de matemáticas supo apreciar la franqueza con la que yo admitía que en realidad no entendía ni una palabra de lo que había aprendido.

»Mucho antes de que se terminara la máquina me convertí en el conejillo experimental de Johnny —prosiguió—. Fue de lo más divertido. Aprendí a traducir ecuaciones algebraicas en formas numéricas, que luego a su vez tienen que pasarse al lenguaje de la máquina en el orden en el que esta tiene que calcularlo, bien en secuencia, o bien dándole vueltas y vueltas hasta que ha terminado con una parte del problema y luego continúa con alguna disyuntiva definida en torno a lo que parezca que resulta adecuado hacer a continuación.» Klári encontró que la programación era «un rompecabezas muy divertido y bastante intricado», y pronto «se convirtió en una de las primeras “codificadoras”, una nueva ocupación que hoy está bastante extendida».

«A la máquina había que contarle la historia entera, darle de golpe todas las instrucciones de lo que se esperaba que hiciera, y luego dejarla a su aire hasta que se quedara sin instrucciones —explicó Klári—. Ya existían máquinas rápidas, automáticas, para usos concretos, pero estas solo podían tocar una única melodía... como una caja de música... en cambio, “la máquina de uso general” es como un instrumento musical.» [\[529\]](#)

No existía ninguna de las comodidades que hoy los programadores dan por sentadas: compiladores, sistemas operativos, direccionamiento relativo, aritmética de coma flotante... Cada posición de memoria había de ser especificada en cada paso, y la posición de los dígitos significativos debía ajustarse a medida que el cómputo progresaba. «Básicamente, la gente tenía que programar sus problemas de manera absoluta —explicó James

Pomerene—. En otras palabras, tenías que llegar a un acuerdo con la máquina, y la máquina tenía que llegar a un acuerdo contigo.» [\[530\]](#)

El trabajo que había realizado Klári durante la guerra sobre estadísticas demográficas la había preparado para los problemas que Johnny estaba empezando a codificar. La cuestión de si un determinado diseño de bomba explota y, de ser así, con qué grado de eficacia, depende de la rapidez con la que se reproduce su población de neutrones, y de si la mortalidad y la emigración ejercen algún efecto moderador. «Las cuestiones estadísticas serán susceptibles de un tipo de tratamiento completamente nuevo —había explicado Von Neumann en enero de 1945, mientras todavía se construía el ENIAC—. Será posible responder a la mayoría de las cuestiones de este tipo realizando el experimento estadístico real: computando cientos de miles de casos especiales y registrando su distribución estadística.» [\[531\]](#) Adoptar un enfoque estadístico para abordar problemas físicos que de otro modo resultaban inabordables era algo que habían hecho otros antes, entre ellos Enrico Fermi en la década de 1930; pero hacía falta alguien —y ese alguien sería Stan Ulam, ayudado por Von Neumann y Nicholas Metrópolis— que le diera nombre a la técnica y la consolidara.

Al final de la guerra se había producido un éxodo de Los Alamos. Dado que su remoto emplazamiento y su absoluto secretismo ya no eran necesarios, el trabajo en el laboratorio parecía tocar a su fin. A quienes tenían familias que mantener se les aconsejó que se fueran si podían. Stan y Françoise Ulam, con su hija de un año, Claire, partieron hacia California, donde a Stan le habían ofrecido un puesto docente en la USC (Universidad del Sur de California). De repente, antes de que se hubiera instalado en su nuevo trabajo, y antes incluso de que Françoise y Claire hubieran encontrado un lugar donde vivir, Stan cayó gravemente enfermo, víctima de una encefalitis viral que podría haberlo matado de no ser por la trepanación de emergencia que le practicaron en el hospital Cedars-Sinai para aliviarle la presión del cerebro.

Abrumada, Françoise se las arregló para enviar a Claire de vuelta a Los Álamos, dejándola al cuidado de David Hawkins (el colaborador de Stan en la multiplicación de neutrones) y de su esposa, Francés (que dirigía el parvulario de Los Álamos). Stan se recuperó en Los Ángeles, mientras Claire crecía entre las familias que habían permanecido en la meseta, donde Norris Bradbury, un administrador más práctico que Oppenheimer, llevaba ahora el timón. Dado que los Ulam habían perdido su seguro médico del gobierno y que Stan todavía no había empezado a dar clases, las cosas pintaban mal. Pero entonces Stan fue invitado a volver a Los Álamos. «El caso [de Stan Ulam] es casi único —le escribió Von Neumann, que sin duda había tenido algo que ver en la invitación, a Carson Mark—. Creo que está justificado que el Laboratorio de Los Álamos haga cualquier cosa para retenerlo.» [\[532\]](#)

Ulam, a quien durante la convalecencia le habían aconsejado evitar la actividad mental intensa, se entretenía haciendo solitarios. Y no pudo resistirse a plantearse una pregunta: ¿cuáles eran las probabilidades de terminar un solitario Canfield [\[XVIII\]](#) con 52 cartas?

«Después de pasar un montón de tiempo tratando de hacer una estimación por medio únicamente de cálculos combinatorios —recordaba—, me pregunté si no podría haber un método más práctico que el “pensamiento abstracto” para jugarlo, pongamos, un centenar de veces y simplemente observar y contar el número de éxitos.» Esta, señalaba, era una manera mucho más fácil de llegar a una respuesta aproximada que «intentar calcular todas las posibilidades combinatorias, que suman un número exponencialmente creciente tan grande que, excepto en casos muy elementales, no hay forma alguna de estimarlas». [\[533\]](#)

«Esto resulta intelectualmente sorprendente, y, si bien no es exactamente humillante, sí que da al menos cierta noción de modestia con respecto a los límites del pensamiento racional o tradicional», añadió. El hecho de extraer profundas conclusiones matemáticas allí donde los demás simplemente considerarían el problema inmediato solucionado, era algo característico de

Ulam. Este observó que la lógica matemática en sí misma puede ser considerada «una clase de juegos —“solitarios”— que hay que jugar con símbolos según unas reglas dadas». A partir de ahí, sacó la conclusión, quizá sin apreciar del todo las implicaciones, de que «una acepción del teorema de Gódel es que algunas propiedades de esos juegos solo pueden averiguarse jugándolos». [\[534\]](#)

El intento de Ulam de apartar su mente de problemas serios no tardó en llevarle de nuevo a algunos de los problemas de Los Álamos que habían quedado sin resolver. «Entonces se me ocurrió que eso podría valer igualmente para todos los procesos que implicaran una ramificación de eventos, como en la producción y posterior multiplicación de neutrones en algún tipo de material que contuviera uranio u otros elementos fisibles — recordaba—. En cada fase del proceso hay muchas posibilidades que determinan el destino del neutrón... Las probabilidades elementales de cada una de esas posibilidades se conocen individualmente... pero el problema consiste en saber qué hará una sucesión y ramificación de quizá cientos de miles o millones.» [\[535\]](#)

El denominado «método de Montecarlo» se originó como una forma de primeros auxilios de urgencia en respuesta a la pregunta: ¿qué hacer hasta que llegue el matemático? «La idea era probar miles de tales posibilidades y, en cada fase, seleccionar al azar, mediante un «número aleatorio» con la probabilidad adecuada, el destino o el tipo de evento, y seguirlo en una línea, por así decirlo, en lugar de considerar todas sus ramificaciones —explicaba Ulam—. Tras examinar las posibles historias de solo unos pocos millares, uno tendrá una buena muestra y una respuesta aproximada al problema.» [\[536\]](#) La nueva técnica se propagó ampliamente, junto con el creciente número de ordenadores capaces de ejecutarla. Se introdujeron algunas mejoras, sobre todo el llamado «algoritmo de Metrópolis» (más tarde «algoritmo de Metropolis-Hastings»), que volvió el método de Montecarlo aún más eficaz al favorecer las historias más probables desde el principio. «La propiedad más

importante del algoritmo es... que las desviaciones de la distribución canónica se desvanecen —explicó Marshall Rosenbluth, que contribuyó a su invención—. ¡De ahí que el cómputo converja en la respuesta correcta! Recuerdo que me sentí bastante emocionado cuando pude demostrar eso.» [\[537\]](#)

Montecarlo abrió un nuevo campo en la física matemática; a diferencia de la física clásica, que considera el comportamiento exacto de un pequeño número de objetos idealizados, o la mecánica estadística, que considera el comportamiento colectivo, como media, de un número muy elevado de objetos, Montecarlo considera el comportamiento probabilístico individual de un número aleatoriamente grande de objetos concretos, y, en consecuencia, se acerca más que ninguno de los otros dos métodos al modo en que realmente funciona el universo físico. «Dado que parece que uno esté obteniendo algo a cambio de nada, es necesario seguir estrictamente el proceso por el que todo sale bien al final; la eficacia de los métodos en casos particulares parece increíble —aconsejaba Andrew Marshall en 1954, repasando los primeros siete años de Montecarlo—. Bastante literalmente, había que ver, y entender, los resultados para creerlos.» [\[538\]](#)

En la siguiente visita de Von Neumann a Los Alamos, Ulam le mencionó la idea cuando aquel se marchaba para coger el tren. «Fue una discusión especialmente larga en un vehículo del gobierno mientras nos dirigíamos de Los Alamos a Lamy —recuerda Ulam—. Hablamos durante todo el trayecto, y todavía hoy recuerdo lo que dije en determinadas curvas de la carretera o cerca de ciertas rocas.» En algún momento del proceso —en general el mérito se atribuye a Nick Metrópolis—, «se decidió llamarlo Montecario —explicó Ulam— debido al elemento de azar que entrañaba, la producción de números aleatorios con los que jugar los juegos adecuados». La idea resultaba irresistible. «A Ulam le entusiasmó la noción de un frenesí de juego en que el tanteo se diseñara para imitar una reacción en cadena de neutrones», recordaba Robert Richtmyer. «Es infinitamente más barato

imitar un proceso físico en un ordenador y realizar experimentos sobre el papel, por así decirlo, que en la realidad», declararía Ulam en el juicio sobre el ENIAC en 1971. [\[539\]](#)

Tras el trayecto en coche a Lamy, Von Neumann regresó en tren a Princeton, trabajando en la sugerencia de Ulam durante el viaje, y luego, después de una conversación telefónica mantenida el 7 de marzo con Richtmyer, mecanografió una carta de once páginas, desarrollando (para una «geometría esféricamente simétrica», ya fuera de uranio o de plutonio) la idea de Ulam. «Estoy bastante seguro de que el problema, en su forma digital, resulta muy adecuado para el ENIAC —escribía—. Supongamos que un problema de criticidad requiere seguir a 100 neutrones primarios a través de 100 colisiones (del neutrón primario o sus descendientes) para cada neutrón primario. Entonces, resolver un problema de criticidad debería llevar unas cinco horas.» Eso solo abordaría la cuestión simplificada de la «criticidad estática»: si ese ensamblaje concreto explotaría o no, pero no la calidad de la explosión. Von Neumann estimó lo que haría falta para abordar esta otra cuestión más compleja, relacionada tanto con la hidrodinámica como con el transporte de radiación, y llegó a la conclusión de que «no tengo ninguna duda en absoluto de que eso será perfectamente manejable con el dispositivo post-ENIAC». [\[540\]](#)

El problema era que el «dispositivo post-ENIAC» no estaría operativo hasta 1951, pese a resultar «cada vez más claro en relación con los requisitos de Los Álamos, sobre todo en la actual atmósfera de crisis, que se precisaban medidas radicales para terminar el computador». [\[541\]](#) Resultaría, sin embargo, que era posible modificar el ENIAC para que funcionara como una aproximación primitiva y provisional a la futura nueva máquina. «En la primavera de 1947, J. Von Neumann le sugirió al autor que sería posible hacer funcionar el ENIAC de una forma muy distinta de la prevista cuando se diseñó —informaba en 1948 Richard Clippinger, que entonces tenía treinta y cinco años—. Probablemente los problemas puedan cambiarse en una hora

en lugar de un día, como sucedía con el viejo método, por el que había que enchufar y desenchufar muchos cables.» [\[542\]](#)

«Hace más o menos un año, Johnny hizo una serie de observaciones realmente notables y fue responsable de un método completamente nuevo de programación —explicaba Herman Goldstine en 1949—. El plan de Johnny consistía en cablear en el equivalente a los cuadros de conexiones del ENIAC un conjunto fijo de instrucciones que fuera universal para todos los problemas.» A cada instrucción se le asignaban números —códigos de operación— únicos que resultaban inteligibles «para un centro de conmutación construido de tal modo que, al recibir un número dado, que caracteriza a una de las órdenes cableadas en los cuadros de conexiones, activa el cuadro apropiado y, en consecuencia, hace que la orden sea ejecutada».

Una secuencia de órdenes, que constituía un programa, podía introducirse, o bien a través de las tablas de función del ENIAC, o bien leyéndola en tarjetas perforadas. «Ya no es necesario hacer malabarismos para encajar una rutina dada —proseguía Goldstine—. Para preparar un problema concreto, ahora el codificador simplemente escribe la secuencia de operaciones, aritméticas y lógicas, que caracterizan su problema, y luego las transcribe en los números que la máquina entenderá.» [\[543\]](#)

«Este nuevo método se basa en un vocabulario, esto es, un conjunto de órdenes, que se transmite a la máquina en dos niveles: la “codificación de fondo” y la “codificación del problema”», explicaban Johnny y Klári, estableciendo una distinción que sobrevive todavía hoy como la diferencia entre sistemas operativos y aplicaciones. El vocabulario lo constituían unas sesenta instrucciones distintas. «Una vez que se había escrito un código, la lista de instrucciones podía instalarse en enormes baterías de interruptores de diez posiciones —añadió Robert Richtmyer—. A cada fila de interruptores se le asignaba una dirección, un número del 1 al 300. De los veinte acumuladores del ENIAC, que eran dispositivos para sumar o almacenar un

número, uno se utilizaba como contador de control, para monitorizar la dirección de la fila de instrucciones que se estaban ejecutando; otro actuaba como centro de distribución central de los números, de manera similar al registro acumulador del diseño de Princeton; otros dos se reservaban para propósitos especiales, y los demás estaban disponibles para el almacenamiento general. Nunca más habría que volver a cambiar el cableado.» [\[544\]](#)

El mérito de transformar el ENIAC en un ordenador de programa almacenado normalmente se atribuye a Von Neumann y Richard Clippinger, aunque Presper Eckert afirma que esa capacidad ya estaba incorporada en su diseño desde un primer momento, y que «Clippinger “redescubrió” más tarde esos usos de las tablas de función sin saber que ya se habían previsto». [\[545\]](#)

Metrópolis añade que, aun después de la reconfiguración de Clippinger, la capacidad del ENIAC seguía siendo insuficiente para manejarlos códigos de Montearlo, hasta que él se fijó en que se estaba instalando un nuevo panel matricial de una vía de entrada y cien de salida, y señaló que, «si se pudiera utilizar para interpretar los pares de instrucción en el modo de control propuesto, liberaría una parte de las unidades de control disponibles lo bastante grande como para poder ejecutar el nuevo modo, probablemente». [\[546\]](#)

«Con la ayuda de Klári von Neumann —contó Metrópolis—, se revisaron y completaron los planes y empezamos a ponerlos en práctica en el ENIAC, y nuestro conjunto de problemas —los primeros “montecarlos”— se ejecutó en el nuevo modo.» [\[547\]](#) Metrópolis y Klári llegaron a Aberdeen el 22 de marzo de 1948 para empezar a reconfigurar la máquina. «Por entonces, las personas que sabían cómo programar eran Johnny Von Neumann, Nick Metrópolis y Klári —explicó Harris Mayer—. Formamos tres equipos, de modo que pudiéramos hacer funcionar la máquina las veinticuatro horas. Estaban Foster y Cerda Evans, un equipo formado por marido y mujer, Rosalie y yo, otro equipo de marido y mujer, y luego estaban la propia Klári y Marshall

Rosenbluth, que era soltero. Nick Metropolis y Klári nos enseñaron cómo programar la máquina. Y luego nos fuimos a Aberdeen.» Trabajar dentro del ENIAC, rodeado de sus registros, acumuladores y tablas de función, hacía que el nuevo arte de la programación resultara fácil de comprender. «En el ENIAC estaba aquel gran tablero de ajedrez en la pared con interruptores de hacía décadas —explicó Mayer—. Podías verlos números, y Johnny pudo comprobar que los números son números, ya sean datos u órdenes. Su revelación fue que se podía cambiar una máquina con una programación fija.» [\[548\]](#)

«Todo está bastante patas arriba —informaba Klári a los Ulam el penúltimo día antes de que se iniciaran los cálculos—. La familia Evans llegó el jueves por la noche (recuerdos y besos de Foster, que en este momento está haciendo de barman), los Mayer llegan esta noche, Marshall Rosenbluth (una incorporación inesperada) vendrá mañana para la verificación final, el domingo desayunar tarde, reunión, etc., y la expedición a Aberdeen parte a las seis de la tarde. Por favor, rezad por mí, y esperemos lo mejor.» El cómputo llevó seis semanas. «Nick me ha dicho por teléfono que el milagro del ENIAC ha ocurrido realmente —le escribía Ulam a Von Neumann el 12 de mayo—, ¡y que se han generado 25.000 tarjetas!» [\[549\]](#)

«Klári está extenuada tras el asedio de Aberdeen, ha perdido casi siete kilos y se ha hecho someter a un chequeo físico general en el hospital de Princeton —informaba Von Neumann cuando ella volvió a casa—. Hicieron falta 32 días (incluidos domingos) para montar el nuevo sistema de control en el ENIAC, comprobarlo y codificar los problemas, y [poner] al ENIAC en forma... Luego el ENIAC funcionó durante 10 días. Producía el 50 por ciento de esas 10 × 16 horas [y] probablemente podría haber seguido así el tiempo que hubiéramos querido... Completó 16 ciclos ("censos", de 100 tarjetas de entrada cada uno) sobre 7 problemas. Todos los interesantes están estacionarios al final de este período... y el método es claramente un éxito al cien por cien.» [\[550\]](#)

Un pequeño grupo que incluía a Klári, Adele Goldstine y Nick Metrópolis empezó a codificar problemas adicionales, tanto para el ENIAC como para la máquina que todavía no se había construido. «Era divertido trabajar en problemas en aquellos primeros días —recordaba Klári—, porque si la mayoría de quienes preparábamos problemas para ser introducidos en una máquina que aún no estaba lista, si realmente nos confabulábamos contra los ingenieros y les decíamos que había algún nuevo truco que sería muy útil, ellos lo añadirían al “vocabulario” de la máquina y en la mayoría de los casos lo harían funcionar.»

«Me describieron tu código y era impresionante —le escribió Von Neumann a Klári desde Los Alamos, discutiendo sobre si una rutina que ella había desarrollado debía codificarse como *software* o integrarse en la propia máquina—. Ahora afirman, sin embargo, que confeccionar una tabla de función más, «fija», es tan poco trabajo que prefieren hacerlo. Se ha decidido que construirán una, con la orden soldada dentro.» [\[551\]](#)

En lugar de tabular la estadística de las poblaciones humanas, Klári tabulaba la estadística de las poblaciones de neutrones cuando estos se veían sometidos a dispersión (el equivalente a viajar), fisión (el equivalente a la reproducción), fuga (el equivalente a la emigración) o absorción (el equivalente a la muerte). Siguiendo un número suficiente de generaciones, era posible determinar si una configuración dada sería crítica o no. Klári difícilmente podría haberse preparado mejor para el diseño de la bomba que mediante su aprendizaje en la Oficina de Investigación Demográfica.

Un manuscrito sin fecha, escrito de puño y letra de Von Neumann, con notas añadidas a (y de) Klári, describe «El funcionamiento real de los problemas de Montecarlo» en el ENIAC. «A fin de iniciar el cómputo, se leyó una tarjeta IBM, que representaba un neutrón, en el Transmisor Constante», empieza el informe. El destino de cualquier neutrón dado podía ser: la dispersión, la absorción, la fuga, la fisión o el censo. Los datos de la tarjeta, utilizados para determinar su destino, incluían la zona del ensamblaje esférico donde ocurría

el evento, el momento en que se producía, la velocidad de la partícula en el momento de ocurrir el evento, el ángulo polar de la trayectoria del neutrón, la distancia del centro de la esfera en el momento del evento, y el número de neutrones que representaba la tarjeta en cuestión. Había también tres cifras adicionales «para rastrear la genealogía de cualquier neutrón en la población de muestra», que especificaban la generación de fisión, el neutrón «padre» y la tarjeta original, o inicial, a partir de la que se había originado la actual tarjeta.

«Para empezar cualquiera de los problemas se leían cien tarjetas, cada una de las cuales representaba el neutrón originado por fisión iniciándose en el centro del ensamblaje en el tiempo cero —explicaba el informe—. Luego esos neutrones, a su vez, producían otras tarjetas de neutrones, que indicaban el evento que acaecía en su ámbito o que se había alcanzado el tiempo del censo. A continuación las tarjetas de fuga total y absorción se separaban y se eliminaban de la pila, dado que ya no había que seguir su trayectoria. Luego las tarjetas de fisión, que representaban los neutrones que producían dos o tres neutrones nuevos y [cuyo] tiempo seguía estando todavía dentro del tiempo de censo, se pasaban de nuevo por el lector, hasta que cada nueva tarjeta impresa era una tarjeta de Fuga Total, Absorción o Censo, lo que indicaba que todos los neutrones que habían sobrevivido habían alcanzado el final del intervalo de tiempo de censo.» [\[552\]](#)

Al final del intervalo de tiempo de censo, se incrementaba T y se iniciaba un nuevo ciclo, utilizando como datos de entrada los datos de salida del ciclo anterior. Nunca antes una serie de eventos había sido examinada con semejante detalle. «Un cálculo “completo” (hasta, pongamos, una evolución de 10 *shakes*)», [\[XVIII\]](#) le decía Von Neumann a Edward Teller, llevaría de seis a ocho semanas. [\[553\]](#) Hay 100 millones de *shakes* en un solo segundo, mientras que hay aproximadamente cinco millones de segundos en ocho semanas. Incluso a la velocidad del ENIAC, el tiempo se ralentizaba 50 billones de veces.

Para determinar la viabilidad de una bomba de hidrógeno, era necesario tener una imagen detallada de lo que ocurre cuando explota la bomba de fisión utilizada para encenderla. Hasta entonces, las tres principales contribuciones al comportamiento de una explosión nuclear —multiplicación de neutrones, transporte de radiación e hidrodinámica— se habían tratado por separado, pero, como el propio Von Neumann había sugerido, y ahora aplicaba Robert Richtmyer, en realidad habían de tratarse como fenómenos relacionados, y a la vez.

«En septiembre de 1947 le propuse a Johnny Von Neumann un plan bastante grandioso para realizar una simulación por ordenador de la explosión de una bomba de fisión —explicó Richtmyer—. A Von Neumann le gustó la idea, de modo que me trasladé a Princeton para ponerlo en práctica, junto con Adele Goldstine y Klári von Neumann, que compartían despacho conmigo.» El proyecto duró tres años. «Yo tenía el hábito de escribir en la esquina superior derecha de la pizarra notas crípticas para mí mismo sobre cosas que tenía que hacer —contó Richtmyer—. En cierta ocasión estuve fuera durante unos diez días, y cuando volví había una nota adicional en la pizarra imitando mi letra; rezaba: “Agua dulce para el hipopótamo”. En consecuencia, “Hipopótamo” pasó a ser el nombre en clave del proyecto en el que estábamos trabajando.» [\[554\]](#)

La computación de Hipopótamo se ejecutó en la SSEC (Selective Sequence Electronic Calculator, «Calculadora Electrónica de Secuencia Selectiva») de IBM, completada en 1948 e instalada en una sala de exposición con paredes de cristal en la sede central mundial de la empresa, en la esquina de la calle 57 y la Quinta Avenida de Nueva York. La SSEC, que Johnny describía a Klári como algo situado a medio camino «entre el ENIAC y las máquinas “inexistentes”», [\[555\]](#) almacenaba unos 20.000 números de 20 dígitos en cinta de papel de 80 pistas, a los que se accedía por medio de tres unidades de perforación y 66 cabezales de lectura. «La programación requirió casi un año —explicó Richtmyer—. Luego nos apoderamos de la SSEC veinticuatro horas

al día y siete días a la semana. En el plazo de unos meses habíamos hecho tres o cuatro cálculos completos de la bomba.» [\[556\]](#) La SSEC, que incorporaba 40.000 relés y tenía un tiempo de acceso de un segundo a su memoria de cinta de papel, quedó muy pronto obsoleta, pero el código de Hipopótamo seguiría utilizándose en Los Alamos durante muchos años.

Quienes trabajaron en aquellos primeros cálculos de armamento, que se realizaban durante semanas seguidas, tenían que controlar cómo progresaban los cálculos, interpretando la física además de la aritmética, y realizando ajustes sobre la marcha. «Desde mi regreso de Chicago he observado con algo más de atención el espacio disponible en la tabla de función numérica, y asimismo, con la ayuda de Johnny, he realizado un organigrama del esquema de María para probar el reflector de neutrones —le escribía Klári a Harris Mayer en abril de 1949—. Por una parte, parece que, si tenemos todos los problemas en una zona fuera del reflector de neutrones, disponemos de un montón de espacio en la tabla de función numérica para poner, si así lo decide, la matriz de reflexión. Solo menciono estos hechos para que tenga la libertad, cuando escoja un método, de considerar la posibilidad de usar la matriz en el caso de que piense que eso podría ser más adecuado para los problemas.» [\[557\]](#) La visión de que aquellos primeros codificadores, como Klári, estaban «haciendo la aritmética» sin entender la física, resulta, pues, errónea.

Con el éxito de Montecarlo vino una repentina demanda de una fuente de suministro fiable de números aleatorios, ya que había escasez de ellos. Podían generarse números pseudoaleatorios en un ordenador en caso necesario, pero, como advertía Von Neumann, «cualquiera que sopesa métodos aritméticos de producir dígitos aleatorios se halla, sin duda, en estado de pecado». [\[558\]](#) En abril de 1947, el Proyecto PvAND de la fuerza aérea estadounidense (precursor de la actual Corporación PvAND), del que Von Neumann fue consultor en Santa Mónica, asumió la tarea de construir una ruleta electrónica y elaborar una lista de un millón de números

aleatorios, disponible inicialmente como tarjetas perforadas, y más tarde ampliada y publicada en forma de libro. «Debido a la propia naturaleza de las tablas, no pareció necesario corregir cada página del manuscrito final para detectar errores aleatorios», explicaban los editores. [\[559\]](#)

Entre el 29 de junio y el 1 de julio de 1949 se celebró en la UCLA una conferencia sobre el método de Montecarlo patrocinada por la Corporación PvAND, el Laboratorio Nacional de Oak Ridge y el Instituto de Análisis Numérico de la Oficina Nacional de Normalización. «El quid de la cuestión — le escribía Klári a Stan Ulam— es que, dado que he estado trabajando en ello bastante tiempo, me gustaría mucho ir.» [\[560\]](#) Sin embargo, aunque animada a participar en la reunión, Klári no asistió. Pasó los últimos días de mayo y casi todo junio realizando un largo cálculo en el ENIAC en Aberdeen, y, pese a los ruegos de Johnny de que dejara que otros lo terminaran, no lo dejó hasta que estuvo completado, retirándose a Princeton exhausta y sin hacer el viaje a Los Ángeles.

«Finalmente he vuelto a Princeton —informaba a Carson Mark, en Los Álamos, el 28 de junio—. Terminamos nuestro trabajo el viernes por la tarde después de haber ejecutado seis censos en el problema 2. Todos ellos salieron supercríticos, con una continua tendencia a la criticidad... Las tarjetas IBM, que están empaquetadas en diez grandes cajas, y el listado de todos los problemas (dos cajas pequeñas) se están enviando desde Aberdeen, por lo que sé por ferrocarril expreso y contra reembolso. Yo me he traído a Princeton todos los documentos secretos que teníamos con nosotros en Aberdeen.» [\[561\]](#)

Durante sesenta años, el método de Montecarlo se ha aplicado a una gama cada vez mayor de problemas, en campos que van desde la física hasta la biología, pasando por las finanzas. La capacidad no solo de seguir, sino también de crear procesos que se ramifican y evolucionan, proporciona al código poderes casi misteriosos. «En un problema de Montecarlo el experimentador tiene el control completo de su procedimiento de muestreo

—explicaba en 1954 Herman Kahn, matemático y estratega termonuclear de RAND—. Si, por ejemplo, este quisiera un cerdo de ojos verdes con el pelo rizado y seis dedos en los pies, y ese evento tuviera una probabilidad distinta de cero, entonces el experimentador de Montecarlo, a diferencia del ganadero, podría producir el animal de inmediato.» [\[562\]](#) La evolución biológica es, en esencia, una búsqueda de aptitud según el método de Montecarlo, y, cualquiera que resulte ser la siguiente etapa en la evolución de la evolución, Montecarlo, asistido por ordenador, llegará allí primero.

Montecarlo es capaz de descubrir soluciones prácticas a problemas de otro modo inabordable porque la búsqueda más eficaz de un territorio inexplorado adopta la forma de un recorrido aleatorio. Los actuales motores de búsqueda, descendientes muy posteriores de sus antepasados de la era del ENIAC, llevan todavía la impronta de su origen en el método de Montecarlo: trayectorias de búsqueda aleatorias cuantificadas para, estadísticamente, acumular resultados cada vez más precisos. El genio de Montecarlo —y de sus descendientes los motores de búsqueda— estriba en la capacidad de extraer soluciones significativas, frente a una información aplastante, reconociendo que el significado reside no tanto en los datos de los puntos finales como en los caminos intermedios.

* * * *

Capítulo 11

Los demonios de Ulam

El factor 4 es un regalo de Dios (o del bando contrario).

*JOHN VON NEUMANN a EDWARD
TELLER, 1946*

«Una vez en mi vida tuve un sueño matemático que resultó ser correcto — recordaba Stanislaw Ulam, nacido en 1909 en Lvov, Polonia, entonces parte del Imperio austrohúngaro—. Yo tenía veinte años. Pensé: “¡Dios mío!, esto es maravilloso, no tendré que trabajar, todo me vendrá en sueños”. Pero nunca volvió a ocurrir.» [\[563\]](#)

Joseph Ulam, el padre de Stanislaw, era un rico abogado judío que sirvió como oficial en el ejército austríaco durante la Primera Guerra Mundial. Su madre, Anna Auerbach, era la hija de un industrial que comerciaba con acero. Stan se sintió atraído por las matemáticas ya desde pequeño. «Cuando tenía cuatro años —escribió—, recuerdo que estaba dando saltos sobre una alfombra oriental mientras observaba sus intrincados dibujos. Recuerdo la altísima figura de mi padre de pie a mi lado, y pude ver que reía. Pensé: “Se ríe porque cree que soy infantil, pero yo sé que estos dibujos son curiosos”.» A los diez años, Ulam firmaba así sus cuadernos escolares: «Stan Ulam, astrónomo, físico y matemático». Recordaba que «un tío mío me regaló un pequeño telescopio para mi cumpleaños cuando tenía once o doce años». [\[564\]](#) En 1927 terminó la secundaria, y en 1933 se graduó en el Instituto Politécnico de Lvov con un máster y un doctorado en matemáticas. Entre la primera y la segunda guerras mundiales, Lvov disfrutó de un interludio similar al de Budapest. «En Lvov —contó Françoise Ulam, que nació en París en 1918 y llegó a Estados Unidos como estudiante de intercambio en agosto de 1938—, los miembros de la sociedad matemática

polaca habían estado realizando la mayor parte de su trabajo en cafés a todas horas del día o de la noche... Los Álamos, de una manera un tanto *sui generis*, le proporcionaba, ya que no la cultura del Viejo Mundo eslavo de su juventud, al menos su propio y pausado ritmo.» [\[565\]](#)

Ulam produjo su mejor trabajo sin que pareciera que estuviera trabajando. «Era auténticamente singular en muchos aspectos —dijo Bruno Augenstein, un analista de RAND y artífice del programa estadounidense de misiles termonucleares cuyo camino se cruzó periódicamente con el de Ulam durante los años de la guerra fría—. Era a la vez una de las personas más inteligentes que he conocido nunca y una de las más perezosas; una combinación interesante.» Francoise Ulam discrepaba: «Con su aristocrática despreocupación, daba la apariencia de ser perezoso, pero en realidad se esforzaba mentalmente, todo el tiempo». En cierta ocasión oyeron a Claire Ulam, que en 1953 tenía nueve años, diciéndole a una amiga: «¡Lo único que hace mi padre es pensar, pensar y pensar!». [\[566\]](#)

«Era un inconformista, un hombre muy complicado, un polaco y, sobre todo, un modelo de contrastes y contradicciones —explicó Francoise—. Vivía principalmente en los límites de su mente.» También era gregario: «Muchos de los que en el laboratorio nos relacionábamos con él sabíamos cuánto le disgustaba estar solo, cómo nos llamaba a horas intempestivas para que le rescatáramos de la soledad de alguna habitación de hotel o de las cuatro paredes de su oficina, después de que hubiera agotado su ronda diaria de llamadas de larga distancia —explicó su colega matemático Gian-Carlo Rota—. Un día reuní el coraje para preguntarle por qué buscaba compañía constantemente, y su respuesta le delató: “Cuando estoy solo —admitió—, me veo obligado a reflexionar”». [\[567\]](#)

Ulam se convirtió en un colaborador frecuente y en el mejor amigo de Von Neumann. «No creo que Von Neumann conociera a nadie más íntimamente que a mí —afirmó Ulam—, y viceversa.» Ambos compartían un origen común como judíos de clase alta del este de Europa, y se conocieron en Varsovia en

1935, después de haber mantenido correspondencia en torno a su interés común en la teoría de la medida durante 1934. Von Neumann le invitó a Princeton, y, con la promesa de un estipendio de 300 dólares del Instituto de Estudios Avanzados, en diciembre de 1935 Ulam zarpó rumbo a Estados Unidos a bordo del *Aquitania*. Luego obtuvo una beca de tres años en Harvard bajo la supervisión de George David Birkhoff, regresando de nuevo todos los veranos a los cafés de Polonia. Cuando partió de Polonia por última vez, en agosto de 1939, se llevó consigo a su hermano pequeño, Adam, que por entonces tenía diecisiete años. Ambos viajaban a bordo del transatlántico polaco *Batory*, rumbo a Estados Unidos, cuando la radio del barco transmitió la noticia del Pacto Ribbentrop-Mólotov. «Es el fin de Polonia», anunció Stan. [\[568\]](#)

En el otoño de 1939, Françoise Aron, que por entonces era una estudiante de posgrado de veintiún años en la Universidad Mount Holyoke de Massachusetts, conoció a Stan en una fiesta que se celebraba en el apartamento de un amigo en Cambridge. «Se pasó la tarde que nos conocimos levantándose de su asiento en dirección a mí para encenderme los cigarrillos —recordaba—. Además de calificarse a sí mismo de “matemático”, una profesión inusual, era elegante, ingenioso y divertido, a pesar de estar muy deprimido, abatido por la guerra, la ausencia de noticias de su familia y sus numerosas preocupaciones financieras. No había en él nada de docente o de académico. Desde el primer momento caí bajo el hechizo de su encanto, lo encontré cautivador, intrigante, excepcional. Me quedé prendada.» [\[569\]](#)

Ni Françoise ni Stan volverían a ver jamás a los padres que habían dejado atrás. «Fueron los días más oscuros de la guerra: la invasión alemana, seguida de la caída de Francia, con sus hordas de refugiados huyendo de las divisiones Panzer que habían rodeado la Línea Maginot; la debacle de Dunkerque, la heroica batalla de Inglaterra... —señaló Françoise—. Por una taza de café de cinco centavos, Stan se sentaba durante horas en la cafetería

de estilo georgiano con matemáticos polacos y de otros países extranjeros que habían ido a parar a Cambridge, discutiendo de las preocupantes noticias de la guerra o hablando de matemáticas. Se hicieron también amigos míos, y después del trabajo solía unirme a ellos.» [\[570\]](#) Poco después, Françoise cocinaba para los dos hermanos y comía con ellos. Los Ulam eran demasiado pobres en Cambridge para permitirse el lujo de ir a restaurantes, y habían sido demasiado ricos en Polonia para aprender a cocinar por sí mismos.

En 1941, incapaz de conseguir empleo en Harvard, ahora inundada de refugiados, Stan Ulam aceptó un puesto de profesor auxiliar en la Universidad de Wisconsin por 2.300 dólares al año. Tras graduarse en Holyoke, Françoise se fue a vivir con él a Madison, donde se casaron ante un juez de paz.

—¿Quieren la ceremonia larga o la corta? —preguntó el juez.

—¿Cuánto cuesta cada una? —le preguntó a su vez Stan.

—La larga cuesta cinco dólares; la corta, dos.

—Nos quedamos con la corta —le respondió Stan. [\[571\]](#)

Ni siquiera en Wisconsin era posible escapar a la tragedia de Europa. El padre de Françoise había muerto cuando ella tenía diez años, lo que le evitó tener que vivirlo, y su hermano pequeño, todavía adolescente, huyó a España y de allí a Inglaterra, donde se entrenó como paracaidista para las Fuerzas Francesas Libres de De Gaulle. Su madre, en cambio, fue apresada en la calle en Marsella y subida a la fuerza a un tren con destino a los campos de concentración nazis; no se la volvió a ver. Por parte de Stan, el panorama no era menos sombrío. «De manera lenta y gradual fueron llegando las noticias de que, durante la ocupación nazi de Polonia, la hermana de Stan, su marido y sus hijos, así como aquellos de sus tíos y tías que no habían salido de Lvov, la ciudad natal de la familia, habían perecido todos en el Holocausto —comentó Françoise—. El padre de Stan, Joseph Ulam, que no había sido apresado, murió de falta de salud y de desesperación en el apartamento de una habitación al que se había visto

relegado cuando los nazis requisaron su casa. Un muchacho joven al que recogió durante aquella época terrible, y que logró escapar a Estados Unidos, nos trajo la triste noticia, y nos contó cómo habían tenido que quemar sus libros de leyes para calentarse.» [\[572\]](#)

Ulam y Von Neumann compartían su frustración por la falta de respuesta a la crisis europea por parte de Estados Unidos. «Cuando... este país anunció... que partirían hacia Inglaterra veinte torpederos, yo no pude por menos que pensar que habría dado igual enviar cincuenta bicicletas», le escribió Ulam a Von Neumann en la primavera de 1941. [\[573\]](#) Ulam se matriculó para recibir lecciones privadas de vuelo y, tras adquirirla ciudadanía estadounidense en 1941, superó el reconocimiento físico militar y trató de alistarse en la fuerza aérea con la idea de convertirse en navegante, si no en piloto. Sin embargo, debido a su edad y al hecho de tener una vista fuertemente asimétrica, fue rechazado.

En abril de 1942, Von Neumann, que por entonces ya era consultor de la Oficina de Investigación Naval, el Laboratorio de Investigación Balística del Ejército y la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico, informaba a Ulam de que «me siento cada vez más abrumado por la labor bélica». Ulam no dejaba de preguntarle cómo podía colaborar, y «un día Johnny respondió insinuándome que había un trabajo interesante en marcha; no podía decirme dónde». [\[574\]](#)

«El proyecto en cuestión es sumamente importante, probablemente más allá de todos los adjetivos con que pueda describirlo», le escribía Von Neumann el 9 de noviembre de 1943, añadiendo que «las exigencias de secretismo de este proyecto son bastante extremas». A esta carta le siguió una invitación, firmada por Hans Bethe, para unirse «a un proyecto no identificado que estaba realizando una importante labor, cuya física tiene algo que ver con el interior de las estrellas». Ulam aceptó el puesto sin saber cuál ni dónde. «Poco después, otras personas a las que conocía bien empezaron a

esfumarse una tras otra. Finalmente me enteré de que íbamos a Nuevo México, a un lugar no lejos de Santa Fe.» [\[575\]](#)

Los Ulam, con su primer hijo en camino, recibieron sus acreditaciones de seguridad y se dirigieron hacia el oeste. «Hicimos el largo viaje en tren y el 4 de febrero de 1944 nos bajamos en un apeadero en un lugar llamado Lamy, a unos treinta kilómetros de Santa Fe, que parecía estar en medio de la nada —recordaba Françoise—. Había nieve en el suelo, pero el sol calentaba con fuerza, el cielo era de un azul intenso y, como dijo Stan, “el aire olía a champán”.» [\[576\]](#)

La meseta de Los Alamos descansa sobre la vertiente este de la sierra de Jémez, al borde de la caldera volcánica del mismo nombre, formada como resultado de dos supererupciones explosivas ocurridas hace 1,6 y 1,1 millones de años, respectivamente. Al otro lado de dicho borde, y con una colina redonda de lava en el centro, se extiende una pradera llana —una especie de Serengeti en miniatura— que el volcán dejó tras de sí al colapsarse. El llamado Valle Grande, un destino turístico favorito de los residentes de Los Alamos y un refugio para la mayor manada de alces de Nuevo México, era el vestigio de una de las explosiones más violentas acontecidas en la Tierra. Los científicos que llegaron a la meseta en el verano de 1943 pretendían que la siguiente fuera una explosión nuclear.

«El lugar era un misterioso campamento, una especie de Montaña Mágica en una Tierra de Encantamiento», explicó Françoise, asombrada al ver a sus «habitantes, que parecían ser científicos llegados de todas partes: Estados Unidos, Canadá, Alemania, Suiza, Hungría, Austria, Italia..., de cualquier sitio imaginable. Muchos habían venido a este país para escapar de Hitler y Mussolini y sus regímenes fascistas. Algunos eran ya famosos. La mayoría eran increíblemente jóvenes, había muchos de veintipocos años y todavía por labrarse una reputación». [\[577\]](#) n el mundo de los cafés de Lvov. «En toda la historia de la ciencia nunca ha habido nada ni remotamente parecido a aquella concentración —explicó con asombro—. A mis treinta y cuatro años,

yo ya era uno de los más viejos.» Ulam encontró que la improvisada estructura del Los Álamos del período bélico ofrecía un refrescante contraste con las formalidades del mundo académico, y aquella comunidad tan estrechamente unida se adecuaba a sus raíces polacas. «Allí la gente estaba dispuesta a asumir papeles secundarios en aras a contribuir a una empresa común —explicó—. Julio Verne había previsto algo así cuando escribió sobre el esfuerzo colectivo necesario para su *Viaje a la Luna*». [\[578\]](#)

Oficialmente bajo el mando del general Leslie Groves, del ejército estadounidense, en realidad el laboratorio estaba dirigido por Robert Oppenheimer, que se las ingenió para arrebatarse el mando al general. «Groves nunca fue consciente de que había sido asimilado a la tarea científica —explicó Harris Mayer—. Al final de su vida creía realmente que él había fabricado la bomba atómica.» [\[579\]](#)

Stan Ulam fue asignado primero a la División T (o División Teórica), a las órdenes de Hans Bethe, y más tarde, cuando las divisiones fueron reorganizadas, a la División F, bajo el mando de Enrico Fermi. Oficialmente respondía ante Edward Teller, a quien veía más como su colega que como su jefe. «Al ser un teórico, Stan podía trabajar en cualquier parte —indicó Francoise—. Iba a su despacho cuando quería. Venía a almorzar a casa, y normalmente reaparecía a primera hora de la tarde.» [\[580\]](#)

Claire nació en julio, y en su certificado figura como lugar de nacimiento el apartado de correos 1663 de Santa Fe. Con su asistencia médica gratuita, sus viviendas subvencionadas y su servicio de guardería comunitario, Los Álamos contribuyó a potenciar el *baby boom* de la posguerra hasta el punto de que el hospital tuvo que empezar a cobrar un dólar diario en concepto de pañales. «Los Álamos se convirtió en una enorme guardería —contó Francoise—, lo que fastidiaba al general Groves.» [\[581\]](#)

La física de Los Álamos cautivó a Stan. «Descubrí que la principal capacidad que se podía tener era la de imaginarse la situación física de una manera visual, y también casi táctil, en lugar de formarse una mera imagen lógica de

los problemas —explicó—. Uno puede imaginar el mundo subatómico casi de manera tangible, y manipular la imagen dimensional y cualitativamente, antes de calcular relaciones más precisas.» [\[582\]](#) La intuición de Ulam venía a complementar la precisa visión lógica del mundo de Von Neumann. «Johnny daba la impresión de operar secuencialmente por deducciones puramente formales», señaló Ulam, describiendo la diferencia entre los dos enfoques como «algo parecido a la distinción entre una imagen mental del tablero de ajedrez físico y la imagen mental de una secuencia de movimientos realizados en él escrita en notación algebraica». [\[583\]](#) El método de Montecarlo, que unía lo mejor de ambos mundos, utilizaba el sistema computacional —formal— de Von Neumann para captar el enfoque probabilístico —intuitivo— de Ulam.

Ulam, que no participaba directamente en el diseño ni en la construcción de la bomba, no presenció la prueba Trinidad. «El día en que se hizo estallar la bomba, a primera hora de la mañana, nosotros estábamos en casa y todavía en la cama —relató Françoise—.

Finalmente Johnny, que había estado allí con los personajes importantes, vino a vernos, cansado, pálido y muy afectado, a su regreso.» [\[584\]](#) Tres semanas después se hizo estallar la segunda bomba, esta vez sobre Hiroshima, a la que seguiría la de Nagasaki el 9 de agosto.

Al acabar la guerra, Ulam consideró que su trabajo había terminado y se marchó. En 1946 toda la División Teórica había quedado reducida a ocho personas, y el laboratorio parecía estar a punto de ser cerrado. Oppenheimer había vuelto a Berkeley; Fermi y Teller habían regresado a Chicago, y Bethe había vuelto a Cornell. El Departamento de Estado había creado un Comité de Energía Atómica, en el que participaban Vannevar Bush, James Conant y el general Groves; este contaba con una junta consultiva que incluía a Oppenheimer, quien formuló el llamado «Plan Baruch», propugnando el control internacional de la energía atómica en todas sus formas. Albert Einstein, Leo Szilárd, Harold Urey Linus Pauling, Víctor Weisskopf y Hans

Bethe formaron el Comité de Emergencia de Científicos Atómicos, que celebró su reunión inaugural en el Instituto de Estudios Avanzados en 1946. El control de Los Alamos fue transferido del ejército a un organismo gubernamental recién creado, la Comisión de Energía Atómica (AEC, por sus siglas en inglés), operativa desde el 1 de enero de 1947. ¿Pero quién controlaría a la AEC? ¿Y qué papel había de desempeñar Los Alamos?

Tras la marcha de Oppenheimer, el físico Norris Bradbury se ofreció como sustituto provisional; permanecería veinticinco años en el puesto. Puso en marcha la Universidad de Los Álamos a fin de no perder demasiado impulso en el interregno entre el ejército y la AEC, y defendió el argumento de que se siguieran diseñando y probando nuevas bombas. «La demostración ocasional de una bomba atómica —sin que sea un arma— puede tener un efecto psicológico saludable en el mundo, por no hablar de nuestro interés científico y técnico en ello —argumentó—. Adecuadamente atestiguadas y convenientemente publicitadas, las nuevas pruebas pueden convencer a la gente de que la energía nuclear solo es segura si está en manos de un mundo que coopera plenamente.» Y a continuación efectuó una sugerencia profética: «Otra prueba hasta podría ser DIVERTIDA». [\[585\]](#)

Cuando Ulam fue contratado de nuevo, tras su convalecencia de la encefalitis, fue nombrado jefe de grupo; de un grupo integrado por él solo. Una de sus áreas de interés tenía entonces un carácter secundario: la tarea, ahora dirigida por Carson Mark, con Edward Teller como supervisor *in absentia*, de establecer la viabilidad de una bomba termonuclear. «Stan no tenía ningún escrúpulo moral con respecto a la idea de volver a Los Alamos —contó Françoise—. Él quería centrarse en los aspectos teóricos del trabajo, y no veía nada malo en ello.» [\[586\]](#)

Teller era incapaz de decidir si Ulam era un joven científico al que había que alentar o un rival al que había que superar. «El señor Ulam es un matemático brillante, pero no tiene la trayectoria adecuada para la labor que estamos realizando y no parece ser capaz de adaptarse a nuestro trabajo»,

había anotado Teller en el expediente personal de Ulam en febrero de 1945, añadiendo luego, como para compensar: «Es un pensador independiente y resulta concebible que pueda lograr resultados muy importantes». Tal como lo expresaría Françoise, «sospecho que sentía que había encontrado la horma de su zapato». [\[587\]](#)

Para Teller, la bomba de hidrógeno era una cruzada que había que llevar a cabo a toda costa, estuviera el país en guerra o no. Para Ulam, la probabilidad o improbabilidad de una reacción termonuclear autónoma era algo que solo les correspondía decidir a las leyes de la naturaleza. En cuanto a las consecuencias militares, Ulam argumentaba que, si uno empezaba a cuestionar el posible mal uso de la investigación científica, entonces se debería haber abandonado el cálculo infinitesimal para impedir sus efectos destructivos. «En mi mente yo sabía que tenía sentido. En mi corazón no podía acabar de entenderlo», añadió Françoise. Sin embargo, «yo misma y mis amigos nos sobrecogimos —declararía Ulam durante el juicio del ENIAC, en relación con los cálculos que llevaron a la bomba H— de que unos cuantos garabatos en una hoja de papel o en la pizarra condujeran finalmente a algo tangible, en este caso a algo muy violento». [\[588\]](#)

Las bombas de hidrógeno habían aparecido por primera vez, cuando Ulam era un niño, en la obra de H. G. Wells *The World Set Free*, una novela profética publicada en los albores de la Primera Guerra Mundial. «Las bombas atómicas que la ciencia arrojó sobre el mundo aquella noche eran extrañas hasta para los hombres que las utilizaban», escribía Wells, previendo un futuro transformado por la energía atómica, hasta que la falta de la necesaria transformación de la naturaleza humana conducía a la «Guerra Final», la que hoy imaginamos como la Tercera Guerra Mundial. En 1914 la fisión nuclear era desconocida, de modo que las bombas atómicas de Wells se alimentaban por fusión, como el sol. Consumían ciudades enteras en un fuego lento e inextinguible, y eran lanzadas a mano desde aeroplanos.

«Era una esfera negra de medio metro de diámetro —escribía Wells—. Las bombas centroeuropeas eran las mismas, pero más grandes.» [\[589\]](#)

«Cuando en 1939 apareció el fundamental artículo de Bethe sobre las reacciones nucleares del ciclo del carbono —explicó Ulam—, pocos, por no decir nadie, podrían haber supuesto o imaginado que en el plazo de muy pocos años tales reacciones serían desencadenadas en la Tierra.» [\[590\]](#)

Cuando la Unión Soviética hizo estallar una bomba de tres fases que liberó más de 50 megatones en Nueva Zembla, el 30 de octubre de 1961, se calculó que, por un momento, el flujo de energía excedió en un 1 por ciento el total de la emitida por el Sol.

En junio de 1942, casi un año antes de que se creara el Laboratorio Nacional de Los Alamos, un grupo de ocho físicos convocados por Oppenheimer, entre quienes se incluían tanto Hans Bethe como Edward Teller, se reunieron en Berkeley para empezar a pensar en las armas nucleares. Concluyeron no solo que la bomba atómica era una posibilidad real, sino que las temperaturas y presiones resultantes, más extremas que las del interior del Sol, se podían utilizar para desencadenar una reacción termonuclear. Podía crearse una especie de Sol muy pequeño que en el instante siguiente, al carecer de la gravedad que mantiene unido al Sol, se haría catastróficamente pedazos. «Nosotros no estábamos atados por las condiciones conocidas de una estrella dada, sino que éramos libres, dentro de unos límites considerables, de escoger nuestras propias condiciones. Estábamos embarcándonos en ingeniería astrofísica —recordaba Edward Teller—. A mediados del verano de 1942 todos estábamos convencidos de que el trabajo se podía hacer y de que... la bomba atómica podría utilizarse fácilmente como un paso intermedio de cara a una explosión termonuclear, lo que nosotros llamábamos una "superbomba".» [\[591\]](#)

En su informe al secretario de Guerra, James Conant y Vannevar Bush se mostraron aún más superlativos, sugiriendo que, «en consecuencia, podemos calificarla de súper-superbomba». [\[592\]](#) Tal bomba «de hidrógeno»

podría alimentarse de deuterio, un isótopo estable del hidrógeno fácilmente extraíble del agua del mar, lo que lo convertía en el combustible más barato del planeta. «Las bombas atómicas serían potentes, pero caras —explicó Teller—. Si podía inflamarse, el deuterio proporcionaría un combustible mucho más barato.» [\[593\]](#) En 1950, el coste de añadir el equivalente a un kilotón de deuterio a una bomba de hidrógeno era de unos 60 centavos.

Una vez que el proyecto de Los Alamos estuvo en marcha, Teller hubo de admitir que «teníamos que ganar la guerra, y no había tiempo para la súper». [\[594\]](#) Pero, una vez terminado el conflicto, consideró que era hora de volver a trabajar en la bomba de hidrógeno. Otros creían, con no menos firmeza, que jamás deberían construirse unas armas que serían mil veces más potentes que las que habían destruido Hiroshima y Nagasaki. Para ayudar a determinar si la «súper» era algo que Estados Unidos debía tratar de conseguir, o debía temer si lo trataban de conseguir sus enemigos, se decidió realizar los grandes cálculos de diciembre de 1945 en el ENIAC, y celebrar una conferencia en abril de 1946 en torno a los resultados.

Bajo la supervisión de Von Neumann, Stanley Frankel y Nicholas Metrópolis se dirigieron a la Escuela Moore (donde el ENIAC todavía era sometido a pruebas de aceptación) y pasaron su millón de tarjetas perforadas por la máquina. «Yo les aconsejé en lo relativo a la física —declararía más tarde Edward Teller—. John von Neumann les aconsejó con respecto al trabajo de computación.» [\[595\]](#) Los resultados fueron interpretados por Teller como indicativos de una ignición termonuclear, aunque más tarde resultaría evidente que los datos físicos eran defectuosos; el cálculo, limitado por la reducida cantidad de memoria del ENIAC, había omitido importantes efectos secundarios.

«Nadie puede culpar a Teller de los cálculos erróneos de 1946, especialmente porque por entonces no se disponía de ordenadores adecuados —escribió Hans Bethe en 1954—. Pero en Los Alamos le culparon por involucrar al laboratorio, y de hecho al país entero, en un arriesgado

programa en función de unos cálculos que él debía de haber sabido que eran muy incompletos.» [\[596\]](#) Teller se mantuvo en sus trece, alegando que el fin justificaba los medios. «Mi perseverancia se debía, en considerable medida, a la fe en unos resultados que eran erróneos —explicó Teller—, pero que resultaban esperanzadores, y eso, por lo menos, nos condujo a un punto en el que se mostró la necesidad de un nuevo desarrollo.» [\[597\]](#)

«Es probable que pueda construirse una superbomba y que funcione», escribía Teller en un resumen que insertó personalmente en el informe final.

[\[598\]](#) La conferencia también dio lugar a una solicitud de patente, presentada conjuntamente por Von Neumann y el físico británico (y agente soviético) Klaus Fuchs, por la invención, en torno al 18 de abril de 1946, en Los Alamos, Nuevo México, «de una propuesta de diseño de una “súper”», descrita como «un dispositivo para iniciar una reacción termonuclear que emplea una cantidad de material fisible adaptable para sostener una reacción en cadena divergente de neutrones, una cantidad masiva de material en el que puede mantenerse una reacción termonuclear». [\[599\]](#) Cuando se descubrió que Klaus Fuchs era un espía soviético, Von Neumann sabía mejor que nadie cuánta información útil se había facilitado o no al bando soviético.

Pero nada podía hacerse si antes no se comprendía mucho mejor la explosión de fisión mediante la que se provocaría la ignición del combustible termonuclear. Robert Richtmyer se trasladó al Instituto de Princeton para empezar a codificar (con la ayuda de Klári von Neumann y Adele Goldstine) el cálculo que pasaría a conocerse como «Hipopótamo», creando un modelo de simulación del comportamiento de la fisión primaria y utilizando la bomba de implosión de Trinidad/Nagasaki como prueba. «Había varios fenómenos implicados, y para cada uno de ellos se conocían los métodos matemáticos en mayor o menor medida debido a cosas ya hechas en Los Álamos simplificando los presupuestos relativos a los otros —explicó Richtmyer—. El problema era juntarlos.» Se tardó dos años en crear un modelo de simulación de lo que había ocurrido en los primeros microsegundos de la

prueba Trinidad. Mientras no hubo mejores ordenadores disponibles, los progresos fueron limitados, y ello a pesar de que, según Carson Mark, que sucedió a Richtmyer como director de la División T, entre 1946 y 1949 la mitad del trabajo de su grupo se dedicó a la «súper».

Von Neumann, impaciente por empezar, comenzó a escribir el código para la máquina que aún no existía. «En aquella sala de café de la División T, yo había visto a Johnny, cuando estaba construyendo su máquina en Princeton, cubrir una pizarra con los primeros indicios de una codificación de diagrama de flujo —recordaba Françoise Ulam—, mientras echaba inconscientes miradas de reojo a cada par de piernas femeninas que pasaban.» [\[600\]](#)

Cuando, el 29 de agosto de 1949, los soviéticos detonaron su primera arma nuclear (que la Unión Soviética llamaría «Primer Relámpago» y Estados Unidos, «Joe-1»), se pidió al Comité Asesor General de la Comisión de Energía Atómica su opinión acerca de si Estados Unidos debería iniciar o no el desarrollo de la bomba de hidrógeno. La respuesta fue que no. «No es un arma que pueda utilizarse exclusivamente para la destrucción de instalaciones materiales con fines militares o semimilitares —explicaba Oppenheimer en la introducción al informe del comité—. Su uso lleva, pues, mucho más lejos que la propia bomba atómica la política de exterminio de poblaciones civiles. Todos esperamos que, por un medio u otro, pueda evitarse el desarrollo de estas armas.» [\[601\]](#)

«Su uso implicaría la decisión de sacrificar a un enorme número de civiles —coincidían la mayoría de los miembros del comité, incluido James Conant, además del propio Oppenheimer—. Creemos que el efecto psicológico del arma en nuestras manos sería contrario a nuestros intereses... Al determinar que no se proceda a desarrollar la superbomba, vemos una oportunidad única de imponer con el ejemplo algunas limitaciones a la totalidad de la guerra y, así, limitar el temor y despertar las esperanzas de la humanidad.» Un apéndice aún más vehemente que reflejaba la opinión minoritaria, firmado por Enrico Fermi e Isidor Rabi, añadía que «se trata necesariamente

de algo malo considerado desde cualquier perspectiva». Von Neumann, que ya no era miembro de la comisión, discrepaba abiertamente: «Creo que nunca tendría que haber habido la menor vacilación», escribía en 1950, después de que Traman hubiera tomado la decisión de avanzar a toda marcha en ese terreno. [\[602\]](#)

Ulam creía que una gran parte de aquel examen de conciencia era innecesaria, dado que los cálculos del ENIAC eran erróneos y la «súper» de Teller resultaría un fiasco. Con la ayuda de Cornelius Everett, un antiguo colega de Madison, emprendió una primera comprobación aproximada de los resultados iniciales, utilizando las técnicas de cómputo manuales (y con tarjetas perforadas) que se habían desarrollado para realizar cálculos de implosión durante la guerra. «Stan, que tenía la intuición conceptual de que la súper concebida por Teller no era viable, emprendió los cálculos simplificados, primero con Everett y luego con nosotros, los analistas de datos —explicó Françoise, que por entonces trabajaba en la división de cómputo manual de Los Alamos—. En un par de meses los cálculos confirmaron su creencia. En otras palabras, Stan fue el primero en dar la voz de alarma: aquello no iba a funcionar. Todos los demás —von Neumann, el almirante Strauss, el jefe de la AEC y los militares— estaban a favor de seguir y experimentar con el esquema de Teller.» [\[603\]](#)

«El grado de esperanza, si se quiere, o de temor, de que algo así era posible fue cambiando gradualmente, y, de hecho, ni siquiera fue de manera constante en una misma dirección —declararía más tarde Ulam—. No hubo un momento en el que yo pudiera decir que estaba esperanzado y que antes era pesimista, sino más bien un espectro continuo de opinión sobre tal o cual manera de llevar a cabo una explosión real.» [\[604\]](#) Las dudas planteadas por Ulam y Everett pusieron a Teller a la defensiva, y dejaron a Von Neumann impaciente por determinar qué números eran los correctos. Él se había apropiado del ENIAC, y era el primero en la cola a la hora de utilizar cualquier nueva máquina disponible. «Cuando se desarrolló la bomba de

hidrógeno —declararía en 1954, en las audiencias de Oppenheimer—, se hizo un uso intensivo de los computadores, [pero] estos todavía no estaban disponibles de forma generalizada... Había que andar gorroneando y encontrar un computador aquí y allá que estuviera funcionando la mitad del tiempo y tratar de usarlo.» [\[605\]](#) Ralph Slutz, que había dejado el IAS para supervisar la construcción del SEAC —el primer clon del ordenador del IAS que fue completado— para la Oficina de Normalización de Washington, recordaba que «un par de personas de Los Álamos» (Metrópolis y Richtmyer) se presentaron en cuanto el ordenador empezó a funcionar, en torno a la Pascua de 1950, «con un programa que estaban terriblemente ansiosos por ejecutar en la máquina... comenzando a medianoche, si les dejábamos disponer de tiempo». [\[606\]](#)

«Cuando los cálculos electrónicos más extensos y precisos de Von Neumann fueron confirmando lenta y gradualmente el punto de vista de Stan, aquello supuso un auténtico revés para toda la empresa», afirmó Françoise. «A pesar de una inicial y esperanzadora “llamarada”, todo el ensamblaje empezó a enfriarse —añadió Stan—. Cada pocos días Johnny llamaba para dar algunos resultados. “Se están formando carámbanos”, decía.» Pero al mismo tiempo que creía que la fe de Teller en la «súper» era injustificada, en el fondo de la mente de Ulam empezaba a incubarse el germen de una alternativa. «El ciclo 10 ha estado ejecutándose durante las últimas veinticuatro horas —informaba a Von Neumann el 27 de enero de 1950 (el día en que Klaus Fuchs firmó su confesión), mientras se realizaban los cálculos con tarjetas perforadas en Los Álamos—. Por cierto, advertencia sobre conducción: ¡hemos tenido que dividir el intervalo de tiempo en 5! [sic] en el ciclo 9. ¡La hidrodinámica, al menos hasta ahora, lejos de ser un peligro, es la única esperanza de que la cosa funcione!» [\[607\]](#)

La «súper» clásica dependía de calentar el combustible de deuterio (o deuterio-tritio) hasta los 100 millones de grados o más requeridos para la ignición. Si era posible que tal cosa ocurriera, había de ocurrir rápidamente,

antes de que la dilatación del material caliente reventara todas las piezas y la fuga de radiación las hiciera enfriarse. «En la “súper”, el desensamblaje hidrodinámico se producía más deprisa que el desarrollo y el mantenimiento de la reacción», explicaría más tarde Ulam. ^[608] La bomba se quedaría en nada.

Al supervisar el progreso de los cálculos de la «súper», Ulam había señalado que las fuerzas hidrodinámicas, lejos de disminuir las perspectivas de ignición termonuclear desensamblando las piezas antes de que el combustible pudiera calentarse lo bastante como para inflamarse, podían, en cambio, dejarse «persuadir» para hacer justamente lo contrario. Un aumento de presión comporta un aumento de densidad. Y un aumento de densidad comporta no solo temperaturas más altas, sino también una mayor opacidad. Cuando se comprime una región de plasma caliente, este no solo se vuelve más caliente, sino también más negro. Y había formas de aprovechar este hecho.

«Lo que me explicas sobre los eventos del ciclo 10 resulta muy interesante — respondía Von Neumann el 7 de febrero—. No hace falta que te diga lo que siento con respecto a la «victoria». Quedan todavía, sin embargo, infinidad de problemas.» ^[609] La «victoria» era el anuncio público por parte del presidente Truman, el 31 de enero, de que, en respuesta a la bomba que los soviéticos habían probado el 29 de agosto, y en contra del consejo de Oppenheimer y el Comité Asesor General, había «ordenado que la Comisión de Energía Atómica continúe su trabajo sobre todas las formas de armas atómicas, incluida la llamada “bomba de hidrógeno” o “superbomba”». Lewis Strauss, armado con la confesión de Klaus Fuchs, había afirmado que los soviéticos, que no tenían a ningún Oppenheimer que les refrenara, podían haber tomado ya la delantera. Finalmente Teller tuvo acceso a recursos ilimitados, y se programó una prueba real, la Operación Invernadero (o prueba George), que revelaría si una pequeña muestra de deuterio-tritio se inflamaba o no.

Entonces Ulam sorprendió a todos. Según Bethe, él ni siquiera pensaba en el problema de la «súper», sino en cómo podrían construirse bombas de fisión de dos fases con un rendimiento muy elevado. «Sin que yo lo supiera, Stan había seguido pensando en los problemas de una especie de manera indirecta, más como reto científico que por su importancia política o militar —explicó Françoise—. Y de repente se le ocurrió un enfoque totalmente nuevo e intrigante.

»Lo encontré en casa al mediodía mirando fijamente por una ventana con una expresión muy extraña en el rostro», contó. Y prosiguió:

No puedo olvidar su mirada perdida mientras contemplaba el jardín sin verlo y me decía con un hilo de voz —todavía puedo oírlo—:

—He encontrado un modo de hacer que funcione.

—¿Que funcione qué? —le pregunté yo.

—La súper —me contestó—. Es un esquema totalmente distinto, y cambiará el curso de la historia. [\[610\]](#)

Ulam habló enseguida con Carson Mark y Norris Bradbury, y con Edward Teller al día siguiente. Este último, que llevaba casi una década trabajando en el problema, mejoró de inmediato la sugerencia de Ulam e incorporó al proyecto a un joven físico vienes, Frederick de Hoffmann, que realizó los cálculos iniciales que establecían la probable viabilidad del nuevo enfoque. «Yo quería hacer algo con la bomba de hidrógeno, pero nadie más quería —afirmó Teller—, y el único hombre decidido a hacer más que yo era Freddy de Hoffmann.» [\[611\]](#) Era De Hoffmann, que por entonces tenía veinte años, quien había calculado las trayectorias balísticas de las dos bombas arrojadas sobre Japón.

Teller tituló su repaso de 1955 del desarrollo de la bomba H «El trabajo de muchos», en un genuino intento de compartir el mérito, frente a las críticas generalizadas, con quienes le habían ayudado. Hans Bethe escribió en 1954 su propia versión, que iniciaba asignando a Teller todo el mérito de haber sido, durante el desarrollo de la bomba atómica, «el primero en sugerir que

la implosión comprimiría el material fisible a una densidad mayor que la normal dentro de la bomba». Pero se negaba a atribuir a Teller el mérito principal del gran avance de la bomba de hidrógeno. «Es difícil describirle a alguien que no es científico la novedad del nuevo concepto —escribió—. Este constituía una desviación completamente inesperada del desarrollo anterior. Tampoco fue previsto por Teller, como atestigua su desesperación inmediatamente anterior al nuevo concepto.» [\[612\]](#)

Ulam sugería que el excesivo entusiasmo por la «súper» clásica pudo haber retrasado la llegada del propio Teller a un diseño acertado, y subrayaba que el verdadero mérito debía atribuirse «al enorme número de cálculos, a todos los estudios de la física general de los procesos, a la planificación de ingeniería, todo ello combinado con la necesidad de predecir y evitar “efectos secundarios”, cualquiera de los cuales podía arruinar el éxito del dispositivo». Y si había que señalar a alguien concreto, le comentaba a Bethe, «apenas se podría exagerar la importancia de las contribuciones realizadas por Fermi en el cambio decisivo del desesperado enfoque original». [\[613\]](#)

Este gran avance, hoy conocido como la «invención de Teller-Ulam», se produjo en febrero de 1951, y se publicó (en una edición secreta de veinte ejemplares) bajo autoría colectiva el 9 de marzo de 1951. «La disposición podría calificarse de heterocatalítica, al implicar, como lo hace, el desencadenamiento de una reacción en un sistema por medio de una reacción iniciada en otro», explicaban Teller y Ulam. [\[614\]](#) «Aquella nueva idea transformó el concepto de la súper en la maravillosamente factible bomba de hidrógeno», señaló Harris Mayer, que ayudó a resolverlos detalles de un nuevo concepto que resultaba «notablemente complejo y endemoniadamente interesante». La especialidad de Mayer era la opacidad a la radiación: cómo algunos estados de la materia resultan más opacos a la radiación a ciertas temperaturas y otros menos. Entenderlos detalles puede ayudar a ajustar las cosas de modo que la radiación fluya hacia donde uno quiere y, cuando llegue a su destino, sea o absorbida o transformada. «La

naturaleza había proporcionado generosos márgenes —afirmó— en las propiedades del flujo de radiación.» Mayer añadió, sin embargo, que «nadie creía que Stan fuera la persona significativa en el desarrollo de la nueva bomba de hidrógeno hasta el asunto Oppie [Oppenheimer]. Y el asunto Oppie puso a todo el mundo tan furioso con Edward [Teller] que luego todos hablaron del concepto de Teller-Ulam». [\[615\]](#)

«Ulam seguía presionando para comprimir la [fisión] secundaria —explicó Theodore B. Taylor, el capacitado diseñador de bombas de Los Alamos que por entonces era amigo tanto de Ulam como de Teller—. Ahora bien, si lo hacía con la percepción clave de que entonces el efecto Compton inverso no agotaría la energía, que las cosas estarían mucho más cerca del equilibrio y que a esas elevadas densidades obtienes una tasa de reacción lo bastante rápida y un aumento de temperatura lo bastante alto como para que resulte muy eficiente, no sé cómo se le ocurrió.» Taylor atribuye el mérito a ambas partes. «Mi percepción de las cosas es que esta compresión directa es algo que vieron los dos al mismo tiempo, que comprimirlo era la manera de que funcionara —sostenía—. Así que la cuestión era: ¿cómo comprimirlo? Había sido Ulam quien había traído el tema a colación, y lo que yo creo es que Teller dijo: “¡Ah!, eso es genial, pero utilicemos la radiación, no la hidrodinámica”. Y entonces todo quedó claro.» [\[616\]](#)

Después de que la «súper» clásica no fuera a ninguna parte durante ocho años, había surgido un diseño que en diecinueve meses pasó del mero concepto a verse refrendado por el éxito de una prueba. La primera reunión para hablar de las implicaciones del nuevo enfoque, en la que participaron Oppenheimer, Teller, Von Neumann, Bethe, Fermi y John Wheeler, se celebró en junio de 1951, en el despacho de Oppenheimer en el Instituto de Estudios Avanzados. «Los responsables de todos los laboratorios se sentaron en torno a esta mesa y estuvimos debatiéndolo durante dos días —declararía Gordon Dean, un socio de Lehman Brothers que se convirtió en presidente de la AEC—. Al final de aquellos dos días llegamos al convencimiento, todos y cada

uno de los que estábamos en la sala, de que por fin teníamos algo... Las discusiones se habían terminado... Fue entonces cuando el asunto echó a rodar, y rodó muy deprisa.» [\[617\]](#)

Finalmente pudo disponerse del ordenador del IAS, y, con el apoyo de Oppenheimer, se repitió lo llevado a cabo en 1943. «Cuando vi cómo hacerlo, tuve claro que al menos uno tenía que dar en el clavo —declararía Oppenheimer en la que pasaría a conocerse como su “audiencia de seguridad”—. [\[XIX\]](#) El programa que teníamos en 1949 era algo tortuoso sobre lo que se podría argumentar muy bien que no tenía demasiado sentido técnico. Por lo tanto, era posible aducir que no lo querías por más que pudieras tenerlo. El programa de 1951 era técnicamente tan agradable que no podías ponerle pegas.» [\[618\]](#) Todo dependía de que la bomba H funcionara al primer intento. « *[Ivy] Mike*, la primera bomba H —explicó Marshall Rosenbluth—, se diseñó de hecho bastante por encima de los estándares.» [\[619\]](#)

Strauss se impacientaba y recelaba cada vez más de Oppenheimer, a pesar de que había sido él quien le había nombrado director del Instituto y de saber que ahora estaba contribuyendo al desarrollo de la bomba H. Según las notas de una conversación relativa a la oposición del bando de Oppenheimer a la bomba H, Strauss se quejaba de que «primero se opusieron por razones morales; luego se opusieron alegando que no había objetivos militares; luego se opusieron alegando que la súper resultaría demasiado costosa en cuanto a neutrones en comparación con el plutonio que podía producirse alternativamente, y ahora quieren construir [texto tachado], lo cual no sería en absoluto una verdadera arma sin restricciones». [\[620\]](#) La tachadura probablemente oculta la denominada «superbomba de *orallloy*» [\[XXI\]](#) (SOB, por sus siglas en inglés), la mayor arma de fisión jamás producida. Diseñado por Ted Taylor, el prototipo de la superbomba de *orallloy* incorporaba el principio potenciador inicialmente sugerido por Von Neumann en 1944, y liberó 500 kilotones en la prueba denominada *Ivy King*, realizada

en el atolón Enewetak el 15 de noviembre de 1952, con la que se pretendía demostrar que, para cualquier propósito militar concebible, debería bastar medio megatón. Pero medio megatón no bastaba para Lewis Strauss.

Las relaciones entre el IAS y la AEC eran complejas. «A principios de 1952 hubo algún cambio en aquella especie de juego de las sillas —explicó Klári—. Johnny se convirtió en miembro del Comité Asesor General, del que Oppenheimer era todavía presidente; Lewis Strauss, sin embargo, ya no era uno de los comisarios, sino que se había convertido en presidente de la junta directiva del Instituto de Estudios Avanzados, del que Johnny era miembro y Robert, director.» Strauss, designado miembro de la AEC por el presidente Truman en 1947, ocupó el puesto hasta 1950; posteriormente, en 1953, fue de nuevo designado miembro por Eisenhower, esta vez como presidente de la institución. «A comienzos de 1954, el año en que se armó la gorda —contó Klári—, estas eran las posiciones relativas: en el Instituto, Johnny sin cambios, Oppenheimer miembro, Strauss director, presidente. En la Comisión de Energía Atómica: Johnny miembro del G. A. C. [Comité Asesor General], Lewis presidente de la Comisión, Robert completamente fuera.»

[\[621\]](#)

El verdadero alcance del trabajo sobre armamento en el Instituto se mantenía en secreto, pero las idas y venidas de gente entre Los Alamos y la AEC eran difíciles de ocultar, y el propósito resultaba fácil de adivinar. «El objetivo —explicó Ted Taylor, en alusión al ordenador de Von Neumann— era, de manera bastante concreta, poder realizar el acoplamiento de hidrodinámica y flujo de radiación necesario para las bombas H.» [\[622\]](#) John Wheeler trasladó su pequeño equipo de Los Alamos a la Universidad de Princeton, poniendo en marcha el denominado «Proyecto Matterhorn», [\[XXI\]](#) bajo la forma de una subcontrata con Los Alamos, con el fin de preparar los cálculos termonucleares para la máquina del Instituto hasta que Los Alamos pudiera construir su propio ordenador.

«Los matemáticos sin duda sabían que se estaba llevando a cabo un trabajo clasificado —afirmó Freeman Dyson, que llegó en 1948—. Puede que no supieran que se trataba de bombas de hidrógeno, pero resultaba bastante obvio. Y se oponían frontalmente a ello.» El sentimiento generalizado de la opinión pública en contra de las pruebas atmosféricas llegaría más tarde, pero la oposición a la bomba de hidrógeno sobre la base de principios humanitarios estuvo presente desde un primer momento. «Causaba una impresión muy mala tener aquella caja fuerte, que solía estar en Fuld Hall, con todos los secretos de Oppenheimer dentro —explicó Dyson—. Y no era solo la caja fuerte, también había allí dos guardias armados. Realmente parecía bastante imponente.» Virginia Davis, que llegó al Instituto en el año 1952 junto con el lógico Martin Davis, recordaba haber visto escrito «NO A LA BOMBA» en el polvo del coche de Von Neumann.

Hubo que recordarle a la fuerza aérea, que debía asumir la responsabilidad de cualesquiera armas utilizables, que el Instituto no era Los Alamos ni RAND. Según Oppenheimer, en una reunión informativa celebrada por Edward Teller y la Corporación RAND, el secretario de la fuerza aérea, Thomas K. Finletter, «se levantó y dijo: “Denos esta arma y gobernaremos el mundo”». Oppenheimer, que había servido de buen grado al ejército bajo el mando del general Groves, se enfrentaba ahora a la fuerza aérea. «Johnny fue incrementando constantemente sus actividades de defensa —contó Klári—, mientras que Robert se fue alejando gradualmente de ellas.» [\[623\]](#)

Julian Bigelow recibió su acreditación de seguridad «Q», que le permitía acceder a los secretos atómicos, el 23 de febrero de 1950. El 14 de marzo, la AEC aconsejó al Instituto que en todo el trabajo realizado bajo contrato con dicha institución «se ordena abstenerse de dar datos o hacer comentarios públicamente sobre cualesquiera reacciones termonucleares», y el 17 de marzo se aclaró, en respuesta a las firmes objeciones de Oppenheimer, que dichas restricciones seguían «permitiendo discusiones no clasificadas acerca de las que se podrían denominar las “reacciones termonucleares clásicas” en

la medida en que no haya ninguna referencia a su relación con las armas». [\[624\]](#) Los códigos de evolución estelar podían ejecutarse de manera abierta, pero los códigos de armamento habían de ejecutarse en la sombra.

«A finales de 1950 —explicó Bigelow— era posible insertar un programa en la máquina y obtener resultados. En la primavera de 1951 la máquina estuvo cada vez más disponible para su uso, los programadores introducían sus programas para realizar ejecuciones de prueba, depuración de fallos, etc., y el índice de error de la máquina había disminuido lo bastante como para que la mayoría de los errores que encontraban fueran fruto de su propio trabajo.

»En el verano de 1951 vino un equipo de científicos de Los Álamos e introdujo un extenso cálculo termonuclear en la máquina del I AS —prosiguió Bigelow—; este se ejecutó sin interrupción durante las veinticuatro horas del día durante un período de unos sesenta días. Así pues, había cobrado vida.»

[\[625\]](#) El universo digital y la bomba de hidrógeno nacieron al mismo tiempo.

«Es una ironía del destino —observó Françoise Ulam— que una gran parte del mundo de alta tecnología en el que hoy vivimos, la conquista del espacio, los extraordinarios avances en biología y medicina, fueran estimulados por la monomanía de un hombre y la necesidad de desarrollar ordenadores electrónicos para calcular si se podía construir o no una bomba H.» [\[626\]](#)

Von Neumann, que era miembro del Instituto de Estudios Avanzados, pasaba gran parte de su tiempo trabajando en armamento, mientras que Ulam, que era miembro del laboratorio de armamento de Los Álamos, pasaba la mayor parte del suyo dedicado a la investigación matemática pura. Mientras Von Neumann comenzaba a trabajar en misiles balísticos intercontinentales (o ICBM, por sus siglas en inglés), Ulam, por el contrario, empezaba a pensar en cómo usar bombas para lanzar misiles en lugar de cómo usar misiles para lanzar bombas.

«La idea de la propulsión nuclear de vehículos espaciales nació tan pronto como la energía nuclear se hizo realidad», explicó. Mientras otros de los que visitaron el emplazamiento de la prueba Trinidad se maravillaban al ver el

modo en que la torre de disparo se había volatilizado por la explosión, Ulam observó que el refuerzo de acero de la base de la torre había sobrevivido intacto a ella. Quizá los objetos atrapados dentro de la bola de fuego podían sobrevivir a la explosión e incluso ser propulsados a otra parte. La cuestión de si la energía producida por una pequeña explosión de fisión podía canalizarse hacia fuera para alimentar la propulsión de un vehículo espacial, era similar a la cuestión de si dicha energía podía canalizarse hacia dentro para alimentar la implosión de una bomba termonuclear. La idea de Ulam era la bomba de hidrógeno vuelta del revés.

En 1955 Ulam elaboró, junto con Cornelius Everett, un informe clasificado de Los Alamos titulado «Acerca de un método de propulsión de proyectiles por medio de explosiones nucleares externas». En él, Ulam y Everett anunciaban: «Se considera que una serie de explosiones nucleares repetidas fuera del cuerpo de un proyectil proporcionan un medio de acelerar tales objetos a velocidades del orden de $10^{6.1}$ cm/s... en el rango de los misiles destinados a la guerra intercontinental, y, aún más, quizá para escapar al campo gravitatorio de la Tierra». [\[627\]](#)

El informe quedó aparcado durante dos años, y luego, tras el lanzamiento del *Sputnik* soviético, la idea la adoptó Ted Taylor, que la tradujo en un proyecto para desarrollar una auténtica nave espacial partiendo del punto en que Ulam lo había dejado. El denominado «Proyecto Orion», financiado al principio por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada (ARPA, por sus siglas en inglés) del Departamento de Defensa, y más tarde por la fuerza aérea estadounidense, sería objeto de una intensa labor durante los ocho años siguientes. «Es casi como la idea de Julio Verne de disparar un cohete a la Luna», declararían Ulam ante el senador Albert Gore a comienzos de 1958. [\[628\]](#) El 1 de abril, Ulam publicó otro informe de Los Álamos, titulado «Sobre la posibilidad de extraer energía de sistemas gravitatorios en la navegación de vehículos espaciales», donde se describía el modo en que una nave espacial podía funcionar como una especie de «demonio de Maxwell»

gravitatorio, amplificando un suministro limitado de combustible y propulsante mediante el uso de la inteligencia computacional para seleccionar una trayectoria que aprovechara la energía de los cuerpos celestes a su paso.

En 1871, James Clerk Maxwell, el científico que dio nombre tanto a las «ecuaciones de Maxwell» que formalizan el concepto de campo electromagnético como a la «distribución de Maxwell» de la energía cinética entre las partículas de un gas, concibió un ser imaginario —al que en 1874 William Thomson (lord Kelvin) denominaría el «demonio de Maxwell»— «cuyas facultades se hallan tan desarrolladas que puede seguir el curso de cada molécula individual». ^[629] Este demonio parece desafiar la segunda ley de la termodinámica al calentar un compartimento en un sistema por lo demás cerrado, sin un gasto de trabajo físico, abriendo y cerrando una pequeña trampilla justo en el momento preciso para que entren las moléculas de alta velocidad y se queden fuera las de baja velocidad. Una distribución de Maxwell de la energía describe cómo, sin una inteligencia sobrenatural, la energía cinética tiende a igualar una población de partículas con el tiempo. Las partículas de luz terminan moviéndose más deprisa a expensas de las partículas más pesadas. Dado el tiempo suficiente, una nave espacial de cuatro mil toneladas terminará moviéndose más deprisa que un planeta. Maxwell desarrolló inicialmente estas ideas, más tarde adaptadas a la termodinámica, para explicar la distribución, por tamaño y velocidad, de las partículas que forman los anillos de Saturno.

«Como ejemplos de la situación que tenemos en mente —explicaba Ulam—, supongamos que un cohete viaja entre el Sol y Júpiter, es decir, sigue una órbita semejante a la de Marte... La cuestión es si, planificando las aproximaciones adecuadas a Júpiter y luego unas aproximaciones más cercanas al Sol, podría adquirir, pongamos por caso, diez veces más energía... Al dirigir el cohete, se pueden adquirir en un grado modesto las propiedades de un demonio de Maxwell... para acortar en muchos órdenes de

magnitud el tiempo necesario para la adquisición de velocidades muy altas.»

[\[630\]](#)

«Recuerdo que Stan hablaba de la posibilidad de hacer un demonio de Maxwell, de que podía ser algo físicamente posible», recordaba Ted Taylor. La inteligencia computacional requerida, que en 1958 se veía como un gran obstáculo, hoy sería el menor de los impedimentos. «Los cálculos requeridos para planificar cambios de trayectoria podrían ser de una longitud y complejidad prohibitivas», advertía Ulam. [\[631\]](#)

El propio Ulam parecía violar la segunda ley de la termodinámica al realizar un trabajo útil sin un gasto visible de energía, simplemente abriendo puertas a las ideas adecuadas en el momento preciso. Ya fuera tomando café en Lvov o jugando al póquer en Los Alamos, dejaba entrar las buenas ideas y mantenía fuera las malas. «Mi increíble suerte —se jactaba a Von Neumann desde Los Alamos en febrero de 1952— ha sido evidente en el póquer (8 sucesivos + ganancias) este año.» [\[632\]](#) Cuatro de las ideas más imaginativas del siglo XX para potenciar nuestra inteligencia —el método de Montecarlo, la invención de Teller-Ulam, los autómatas celulares autorreproductores y la propulsión nuclear de pulso— se originaron con la ayuda de Stan. Tres de las cuatro se revelaron tremendamente fructíferas, mientras que la cuarta fue abandonada antes de darle una oportunidad.

Montecarlo era la materialización, por medio de la computación digital, de lo que Maxwell solo pudo imaginar: una forma de seguir realmente el comportamiento de un sistema físico en sus niveles elementales, como «si nuestras facultades e instrumentos estuvieran tan desarrollados que pudiéramos detectar y echar mano de cada molécula individual y seguir todo su curso». [\[633\]](#) La invención de Teller-Ulam invocaba una versión del demonio de Maxwell para calentar un compartimento a una temperatura superior a la del Sol dejando entrar una ráfaga de radiación, y luego, durante un instante que desafiara el equilibrio, impidiendo que dicha radiación saliera. Los autómatas celulares autorreproductores de Ulam —pautas de

información persistentes en el tiempo— evolucionan dejando entrar el orden pero no dejándolo salir.

Cuando Nicholas Metrópolis y Stanley Frankel empezaron a codificar los primeros cálculos de la bomba para el ENIAC, solo había margen para un universo unidimensional, representado por una sola línea que, en nuestro universo, se extendía hacia fuera desde el centro de la bomba. Presuponiendo una simetría esférica, lo que se aprendía en aquel universo unidimensional podía utilizarse para predecir el comportamiento tridimensional en el nuestro. Ulam empezó a imaginar cómo podía evolucionar la cosmología en un universo unidimensional. «¿Ha considerado alguien el problema siguiente, que me parece muy bonito? —Le escribía a Von Neumann en febrero de 1949—. Imaginemos que en la línea infinita $-\infty$ a $+\infty$ he ocupado los puntos enteros, cada uno con una probabilidad pongamos de $^{[1]}/2$, con masas puntuales materiales; es decir, tengo esta situación...», y a continuación bosquejaba una distribución aleatoria de puntos sobre una línea. «Esta es una distribución en el tiempo $t = 0$.»

«Ahora bien, entre esos puntos actúan $1/d^{[2]}$ fuerzas (como la gravitación) —proseguía—. ¿Qué pasará para $t > 0$? Yo sostengo que se formarán condensaciones rápidamente —supongamos, en aras de la simplicidad, que cuando los puntos se tocan se quedan pegados—, con una bonita distribución de masas de tipo gaussiano. Luego —la etapa siguiente— se formarán cúmulos de dichas condensaciones, algo más despacio, pero inevitablemente (¡todos los enunciados tienen probabilidad = 1!).» Ulam explicaba cómo ese sencillo universo unidimensional empezaría a parecerse «a algo similar al universo real: estrellas, cúmulos, galaxias, supergalaxias, etc.», y luego consideraba lo que podía ocurrir en dos dimensiones, y hasta en tres, al introducir las fuerzas de alcance, la oscilación térmica y la luz. Concluía sugiriendo que «la “entropía” disminuye; se aplica un “orden” anormal». [\[634\]](#)

Entonces Ulam empezó a pensar en un universo bidimensional, celular, siguiendo el ejemplo de los códigos hidrodinámicos bidimensionales que se

utilizaban en el trabajo sobre bombas. «Hablé del modelo celular con Von Neumann a finales de la década de 1940», le escribió más tarde a Arthur Burks, y por lo visto también mantuvo discusiones similares con Nick Metrópolis. «¡¡¡Al fin vengo a Los Alamos!!! —Le escribía Metrópolis a Ulam en junio de 1948—. Espero que tendrá la oportunidad de hacer más sobre la geometría de espacio de fases, porque ahí hay materia, y [sobre] su mundo bidimensional.» [\[635\]](#)

Mientras tanto, en nuestro universo tridimensional, a las 7 horas, 14 minutos y 59 segundos, hora local, del 1 de noviembre de 1952 (31 de octubre en Estados Unidos), la invención de Teller-Ulam, el algoritmo de Montecarlo, el ordenador del IAS, los recursos de Los Álamos y los esfuerzos de unas 11.652 personas asignadas al Destacamento Especial 132 en el Pacífico Sur, dieron como resultado la detonación de *Ivy Mike*, la primera bomba de hidrógeno.

Del tamaño de un vagón de tren, y con sus componentes no nucleares contruidos por la American Car & Foundry Company de Búfalo, Nueva York, *Ivy Mike* pesaba 82 toneladas, gran parte de las cuales correspondían a un enorme tanque de acero lleno de deuterio líquido, refrigerado a menos de — 523 °C e inflamado mediante una bomba de fisión TX-5. Se hizo estallar en la superficie de una pequeña isla en el atolón de Enewetak, y liberó 10,4 megatonnes —el equivalente a unas 750 bombas de Hiroshima—, volatilizandoo 80 millones de toneladas de coral para dejar un cráter de más de 1.900 metros de diámetro y casi 50 de profundidad, «lo bastante grande como para dar cabida a 14 edificios del tamaño del Pentágono», según se hizo constar en uno de los informes oficiales. Aquella idea que inicialmente se le cruzara por la mente a Ulam cuando observaba con la mirada fija el jardín menos de tres años antes, ahora había borrado del mapa la isla entera de Elugelab.

El atolón de Enewetak, integrado por unos 39 islotes distribuidos en torno a una laguna central, era, como la caldera de Jémez, el resultado de un antiguo volcán cuyo colapso había dejado no un frondoso valle rodeado de

montañas, sino una resguardada laguna rodeada de un arrecife de coral. Al islote, apartado incluso con respecto a las islas Marshall, y a su población marinera se los había dejado tranquilos hasta que la isla fue reclamada por los japoneses después de la Primera Guerra Mundial, y luego ocupada por Estados Unidos tras una encarnizada batalla durante la segunda. En 1947 todos los residentes nativos fueron deportados a Ujelang, un atolón deshabitado situado a unos 225 kilómetros de distancia, después de que Enewetak fuera seleccionado como emplazamiento de pruebas nucleares. Al principio se consideró que Enewetak estaba demasiado cerca de Kwajalein y de una serie de «pequeños atolones poblados por nativos» para realizar una prueba de la superbomba, pero, según las notas de una reunión celebrada el 25 de agosto de 1951, «la opinión de Edward Teller era que una detonación en Eniwetok [*sic*] no era inviable... si se elegía un momento en que el viento fuera en la dirección opuesta y se realizaban preparativos previos para evacuar Kwajalein». [\[636\]](#)

«Acompañada de una luz brillante, la onda de calor se dejó sentir de inmediato a distancias de 50-55 kilómetros —informa el registro oficial de la prueba—. La tremenda bola de fuego, que apareció en el horizonte como el Sol cuando está amaneciendo, se expandió rápidamente... y pronto apareció una enorme nube convencional en forma de hongo, que parecía estar en equilibrio sobre un tallo ancho y sucio... debido a las partículas de coral, los escombros y el agua aspirados a gran altitud en el aire... en torno a la zona donde había estado la isla de Elugelab.» [\[637\]](#)

«La bomba estalló a las 7.15 de la mañana bajo un cielo parcialmente nublado, veteado de color por el sol naciente», señalaba Lauren Donaldson, un biólogo marino de cuarenta y nueve años de la Universidad de Washington que recogió muestras antes y después de la prueba. Una semana después todavía encontraba charranes que «tenían las plumas quemadas, las blancas parecían haberse salvado, pero las oscuras estaban chamuscadas», y peces a los que «les faltaba la piel de un lado, como si

hubieran sido arrojados a una sartén caliente». El y su equipo se habían fabricado sus propias gafas protectoras añadiendo cristal para soldar a sus máscaras de buceo, y desde unos cincuenta kilómetros de distancia, a bordo del *Oakhill*, «la bola de fuego que surgió al principio parecía hervir y luego removerse como fruta hirviendo en una cacerola. Había grandes trozos ennegrecidos que parecían estar incluidos en la masa». [\[638\]](#)

Walter Munk y Willard Bascom, dos jóvenes oceanógrafos que trabajaban para la Institución Oceanográfica Scripps, fueron desembarcados del reconvertido remolcador *Horizon* en sendas balsas de madera contrachapada sustentada sobre cámaras de neumático de camión, a unos 134 kilómetros de la zona cero, para medir la onda de superficie y, en el caso de que hubiera el menor indicio de tsunami, dar la voz de alarma. Las dos balsas, situadas a unos tres kilómetros de distancia una de otra, estaban ancladas con cuerda de piano a sendas ruedas de tranvía que se habían hecho descender hasta la cumbre de una montaña marina, unos 1.370 metros más abajo. «Mojado y frío, me puse mis gafas protectoras de alta densidad — recordaba Munk—. Una ráfaga de calor instantánea señaló la explosión; a las 7.21 llegó una onda de choque aérea de cinco milibares, un brusco aviso seguido de un tempestuoso estruendo. Nunca olvidaré el cielo hirviendo en lo alto. Ninguna de las fotografías que he visto nunca ha captado aquello.» [\[639\]](#)

Después de aproximadamente una hora, la nube, ahora de unos cien kilómetros de diámetro, en palabras de un observador se había «desparramado» sobre la tropopausa a más de 30.500 metros de altitud. Varios pilotos de la fuerza aérea estadounidense, que pilotaban F-84G de muestreo especialmente configurados y llevaban trajes de vuelo revestidos de plomo, fueron enviados a recoger muestras dentro de la nube en forma de hongo. El primer grupo entró en ella noventa minutos después de la detonación, a 12.800 metros de altitud. «Inmediatamente después de entrar en la nube, LÍDER ROJO se vio sorprendido por su intenso color», informa el relato oficial. Y prosigue:

La manecilla del Integron, que mostraba el ritmo al que se acumulaba la radiactividad, «giraba tan deprisa como el segundero de un reloj... ¡Y yo que había pensado que apenas se movería...!». La combinación de la mayoría de los instrumentos que indicaban lecturas máximas y el resplandor rojo similar al interior de un horno al rojo vivo resultaba «pasmosa», y el coronel Meroney hizo rápidamente un giro de 90 grados para salir de la nube.

Con el combustible agotado, Meroney consiguió volver por los pelos a la pista de aterrizaje en Enewetak. Jimmy Priestly Robinson, que pilotaba el cuarto F-84, no tuvo tanta suerte. «Por razones desconocidas, ROJO-4 entró en barrena poco después de entrar, aunque logró recuperar el control a los 6.100 metros», prosigue el informe. A los 5.800, Robinson informó de que sus indicadores estaban a cero, pero el motor seguía funcionando. En la siguiente transmisión informó de que el motor había estallado en llamas y de que se encontraba a 4.000 metros. De inmediato despegó un equipo de rescate en helicóptero para tratar de rescatarlo. Su última transmisión fue a 900 metros de altitud: «Tengo el helicóptero a la vista y voy a saltar en paracaídas». El avión planeó sobre el agua a escasa altura, bajo control, y luego dio una vuelta de campana antes de hundirse. Nunca se encontró el cuerpo del piloto. [\[640\]](#)

Jimmy Priestly Robinson fue la primera persona que murió víctima de una bomba de hidrógeno.

La prueba fue clasificada como alto secreto, y la opinión pública se vio privada de la noticia de su éxito hasta que fue anunciada por Truman cuando era el presidente saliente (justo antes de la investidura de Eisenhower), el 7 de enero de 1953. Se hicieron más de 6.700 comprobaciones de historial entre las personas involucradas en la prueba, y el 14 de noviembre se reclutó a J. Edgar Hoover en persona para intentar descubrir la fuente de información que había filtrado la noticia a periodistas de las revistas *Time* y *Life*. Ulam, que había obtenido un permiso para ausentarse de Los Alamos y estaba en Harvard, viajó a Nueva York para reunirse con Von Neumann a

principios de noviembre, probablemente para recibir la noticia de primera mano. Por lo visto mantuvieron una larga charla en un banco de Central Park, sin que quedara constancia alguna de lo que hablaron sobre la prueba *Ivy Mike*; pero un posterior intercambio epistolar daba a entender que la conversación se había extendido a la posibilidad de dar vida a un universo digital.

«Solo gracias a nuestra conversación en el banco de Central Park pude entender... [que] es un sistema de puntos realmente infinito (vale la pena subrayar lo de infinito real porque nada tendrá sentido en un modelo finito por grande que sea)...», señalaba Ulam, que luego esbozaba como él y Von Neumann habían planteado la hipótesis de la evolución de autómatas celulares Turing-completos (o «universales») en un universo digital de células de memoria intercomunicadas. Las definiciones habrían de ser matemáticamente precisas:

Un autómata «universal» es un sistema finito que, dada una proposición lógica aleatoria en forma de (un conjunto lineal L de) cinta acoplada a él, pongamos en puntos concretos, producirá la respuesta verdadera o falsa. («Universal» debería tener un sentido relativo: en relación con un tipo de problemas que puede decidir.) Lo de «aleatorio» se refiere realmente a una clase de proposiciones como de las de Turing, o más pequeñas o más grandes.

«Un organismo (¿hay alguna razón para tener miedo aún a este término?) es un autómata universal que produce otros autómatas como él en un espacio circundante que es inerte o solo «aleatoriamente activado» —prosiguen las notas de Ulam—. Tal “universalidad”, ¿es probablemente necesaria para organizarse u *oponerse* a la organización de otros autómatas?», se preguntaba, a modo de inciso, antes de esbozar una formulación matemática de la evolución de tales organismos en formas metazoarias.

Supongamos que los estados para cada célula son solo dos, que las células son del mismo tipo y que las conexiones entre vecinas inducen solo el

cambio más simple. El problema consiste en ver si existirán *cajas* de dichas células que contengan n (¡una n grande!) elementos cada una, de modo que el número de estados sea 2^n para cada caja; ahora dividimos los 2^n estados en K clases (una K pequeña, como 20) y denominamos a cada clase un estado de la caja. Quizá entonces esas cajas sean capaces de desempeñar el papel de nuestras actuales células.

Al final, Ulam reconocía que posiblemente habría que invocar un modelo estocástico antes que determinista, lo cual, «lamentablemente, tendría que implicar una enorme cantidad de superestructura probabilística en la teoría esbozada. Creo que probablemente ello debería omitirse a menos que suponga el quid del problema de la generación y la evolución, ¿lo que podría ser el caso?». [\[641\]](#)

Ulam volvió pronto a Los Alamos, y cinco meses después el mundo científico se vio sorprendido por la noticia del descubrimiento de la estructura del ADN. Ahora era evidente cómo se replicaban las secuencias genéticas, y cómo se transmitía información de las cadenas de ácidos nucleicos a los aminoácidos y luego a las proteínas, aunque seguía siendo un misterio cuáles eran realmente las reglas de dicha traducción. Este rompecabezas —el modo en que la vida traduce entre secuencia y estructura y, al hacerlo, no solo tolera la ambigüedad sino que saca partido de ella— seguiría atrayendo el interés de Ulam durante el resto de su vida.

Dicho rompecabezas de traducción también cautivó la imaginación del físico ruso George Gamow, que el 20 de julio de 1953 le envió a Ulam un telegrama que rezaba:

QUERIDO STAN, TENGO PROBLEMAS PORQUE USTED UTILIZA 20 LETRAS DISTINTAS PARA ESCRIBIR UNA LARGA PALABRA CONTINUA QUE CONTIENE UNOS MILES DE LETRAS. ¿QUÉ LONGITUD DEBERÍA TENER ESA PALABRA PARA QUE HUBIERA UNA BUENA PROBABILIDAD DE ENCONTRAR EN ELLA TODAS LAS PALABRAS DE DIEZ LETRAS POSIBLES? POR FAVOR TELEGRAFÍE. [\[642\]](#)

Stan le contestó inmediatamente desde Los Álamos:

POR FAVOR TELEGRAFÍE DICIENDO SI SE PUEDEN SALTAR LETRAS DE LA PALABRA LARGA PARA FORMAR PALABRAS DE DIEZ LETRAS. SI ES ASÍ LA RESPUESTA ES QUE BASTANTE CORTA. SI SOLO SE PERMITEN LETRAS CONTIGUAS LA RESPUESTA ES QUE MUCHO MAYOR DE DIEZ ELEVADO A LA VIGÉSIMA POTENCIA Y CARSON LE ENVIARÁ ESA PALABRA RECOPILOTARIA.

ABRAZOS, STAN. [\[643\]](#)

* * * *

Capítulo 12

El universo de Barricelli

El Hacedor de Estrellas... podía hacer universos con toda clase de atributos físicos y mentales. Solo estaba limitado por la lógica. Así, podía ordenar las leyes naturales más sorprendentes, pero no podía, por ejemplo, hacer dos veces dos igual a cinco.

OLAP STAPLEDON, 1937

«Dios no juega a los dados con el universo», le dijo Albert Einstein al físico Max Born (el abuelo de Olivia Newton-John) en 1936. Pero no había impedimento alguno con respecto a las cartas. «Cada carta roja (corazones y diamantes) ha sido registrada como +1, y cada carta negra (picas y tréboles) ha sido registrada como -1 —explicaba Nils Barricelli al sembrar los registros de memoria de un universo digital vacío de 5 kilobytes con números aleatorios en marzo de 1953—. A fin de evitar cualquier correlación apreciable entre las cartas extraídas, nunca hemos extraído más de diez cartas a la vez sin barajar de nuevo el mazo.» [\[644\]](#)

Nils Aall Barricelli, que, según Gerald Estrin, «tenía el más maravillosamente delicioso de los acentos», nació en Roma el 24 de enero de 1912, de madre noruega y padre italiano. Estudió física matemática con Enrico Fermi y se convirtió en un vehemente crítico de Mussolini, cuyo acceso al poder le llevó a trasladarse a Noruega, acompañado de su hermana pequeña y de su madre, recientemente divorciada, tras graduarse en la Universidad de Roma en 1936. Enseñó la teoría de la relatividad de Einstein en la Universidad de Oslo, publicó un volumen de apuntes de clase sobre teoría de la probabilidad

y estadística, y pasó la guerra escribiendo una tesis doctoral sobre el análisis estadístico de la variación del clima, que presentó en 1946. «Pero tenía quinientas páginas y se consideró demasiado larga para imprimirla —afirmó su antiguo alumno Tor Gulliksen—. El no quiso reducirla a un tamaño aceptable, ¡y prefirió, en cambio, no obtener el grado de doctor!» [\[645\]](#)

Barricelli era un inconformista inflexible que cuestionaba el dogma aceptado no solo con respecto a la evolución darwiniana, sino en relación con temas que iban desde la transparencia de la materia para los neutrinos hasta la prueba de Gódel. «Creía que todo enunciado matemático podía, o bien demostrarse, o bien refutarse. Insistía en que la prueba de Gódel era defectuosa», explicó Simen Gaure, un ayudante que fue contratado («Nos pagaba directamente de su bolsillo, y también era una paga bastante buena, al menos para los estudiantes») tras un proceso de selección que requirió encontrar un defecto oculto en una prueba de muestra. «Los que supieron señalar el defecto fueron aceptados al considerárseles no arruinados todavía por la educación matemática», añadió Gaure, que explica que, de hecho, Barricelli tenía la intención «de construir una máquina que pudiera demostrar o refutar cualquier enunciado de aritmética y geometría descriptiva». Nunca construyó tal máquina, pero al prepararla desarrolló un lenguaje de programación llamado «B-matemática», lo cual le llevó a descubrir lo que él afirmaba que era un círculo vicioso en la prueba de Gódel. «Una vez le pregunté qué significaba la “B” de “B-matemática” —contó Gaure—. Me contestó que aún no lo había decidido: podía ser “booleana”, podía ser “Barricelli” o alguna otra cosa.» [\[646\]](#)

Barricelli desempeñaba su labor en la periferia del mundo académico, y a la larga el gobierno noruego le concedió una subvención estatal que le permitió permanecer en la Universidad de Oslo con su propio pequeño grupo de investigación. «Él estaba interesado, entre otras cosas, en la vida extraterrestre —señala Kirke Wolfe, uno de sus ayudantes de investigación en la Universidad de Washington—, y en elaborar teorías sobre la vida y la

inteligencia que fueran lo bastante generales como para acomodar las formas que estas podrían adoptar en otras partes.» Consideraba que la cuestión no era si había o no vida extraterrestre, sino si nosotros seríamos capaces de reconocerla. «Nuestra limitada experiencia con el tipo de vida concreto que se ha desarrollado en este planeta puede revelarse del todo insuficiente de cara a formarse una imagen de las posibles formas de vida que pueden encontrarse en planetas extraños», escribía en relación con las perspectivas de encontrar vida en Marte y Venus en 1961, cuando los programas espaciales de Estados Unidos y la Unión Soviética empezaban a despegar. [\[647\]](#)

«La comunidad científica necesita un par de Barricellis cada siglo», afirmó Gaure, quien reconoció que Barricelli se hallaba «en equilibrio en esa delgada línea de separación que hay entre ser realmente original y ser un excéntrico». Según Wolfe, «era un mundo en sí mismo, y estaba al corriente de cualquier trabajo que se estuviera haciendo en ese momento». Su identidad se repartía entre Italia, Noruega y Estados Unidos. «Para él, el sentimiento del origen no era importante —explicó Wolfe—. Elegía ir allí donde pudiera obtener los recursos que necesitaba para hacer su trabajo.»

^[10] Wolfe subrayó el contraste entre la vida de Barricelli como individuo extremadamente solitario y su devoción al principio de simbiogénesis, por el que la individualidad se ve superada y reemplazada por la cooperación entre los miembros de un grupo. Barricelli creía que las ventajas de la cooperación entre individuos por lo demás rivales constituían un factor de la evolución más importante que la selección natural o la variación aleatoria, y consideraba que sus experimentos sobre evolución numérica eran una forma de demostrar su argumento. «Según la teoría de la simbiogénesis —sostenía—, con la simbiosis los genes ganaron 1) enormes posibilidades de desarrollo y 2) un ritmo de desarrollo muy rápido.» [\[648\]](#)

En sus investigaciones sobre genética viral, Barricelli desarrolló modelos matemáticos y evitó el trabajo de laboratorio. «Él decía que el problema es

que, cuando haces un experimento y obtienes un resultado, no hay forma alguna de mirar atrás a cada paso que has dado y asegurarte de que has dado correctamente cada uno de esos pasos, de modo que el resultado que obtienes no es verificable —dijo el genetista Frank Stahl—. ¿Quién sabe si en uno de los pasos no has podido coger una pipeta del tamaño equivocado y echarle a algo la cantidad equivocada de otro algo?» [\[649\]](#)

Barricelli «seguía insistiendo en la utilización de tarjetas perforadas incluso cuando todo el mundo tenía ya pantallas de ordenador —contó Gaure—. Daba dos razones para ello: cuando te sientas delante de una pantalla, tu capacidad para pensar con claridad disminuye debido a que te distraes con cosas irrelevantes, y cuando almacenas tus datos en medios magnéticos no puedes estar seguro de que estén ahí permanentemente; en realidad, no sabes dónde están en absoluto». [\[650\]](#)

Después de publicar en Oslo, en 1947, un trabajo sobre «La hipótesis de la simbiosis de genes», Barricelli realizó, a mano, en papel milimetrado, una serie de experimentos numéricos; estos dieron como resultado un informe preliminar titulado «Modelos numéricos de organismos evolutivos», que fue el que le valió la invitación para incorporarse al IAS. «Debió de haberse puesto en contacto con Von Neumann desde Noruega y mencionarle algunas de sus ideas —afirmó su compatriota noruego Atle Selberg—. Von Neumann era bastante receptivo a esas cosas.» [\[651\]](#)

«Según la teoría de la simbiosis de genes, originariamente los genes eran organismos independientes, similares a los virus, que por asociación simbiótica formaron unidades más complejas —explicaba Barricelli—. Debería ser posible una evolución similar con cualquier tipo de elementos que tengan las propiedades fundamentales necesarias.» [\[652\]](#) El proponía poner a prueba esas teorías utilizando secuencias de códigos capaces de reproducirse, de sufrir mutaciones y de asociarse simbióticamente dentro de la memoria de la nueva máquina. En diciembre de 1951 solicitó una beca Fulbright «para realizar experimentos numéricos mediante el uso de grandes máquinas de

calcular, a fin de clarificar las primeras etapas de la evolución de las especies»; pero, debido a un retraso a la hora de obtener su ciudadanía noruega, la oficina de Oslo rechazó la petición. [\[653\]](#)

«El trabajo del señor Barricelli en genética, que me impresiona por ser sumamente original e interesante... requerirá una gran cantidad de trabajo numérico, el cual podría realizarse de manera más ventajosa con computadores digitales de alta velocidad de un tipo muy avanzado —escribió Von Neumann en apoyo de la propuesta—. [\[654\]](#) He realizado una investigación preliminar de las exigencias de codificación y tiempo. Nuestra máquina debería poder manejarlo a la escala que él sugiere, esto es, con líneas de 1.000 células cada una y gestionando 200 líneas en cada bloque. El tiempo de gestión de uno de tales bloques sería aproximadamente de una y media a dos horas, si todo va bien.» Barricelli llegó finalmente a Princeton en enero de 1953, con una beca de investigación del gobierno noruego, y el 6 de febrero se le concedió la pertenencia no remunerada a la Escuela de Matemáticas para el resto del año académico; una situación que se renovarían en 1954, pero esta vez con un salario de 1.800 dólares.

Los retrasos en las gestiones de la nacionalidad de Barricelli vinieron acompañados de los retrasos a la hora de completar el ordenador, de modo que finalmente resultó que Barricelli llegó a Princeton justo en el momento preciso. El objetivo, tal como él mismo explicaba, era «encontrar analogías o, posiblemente, discrepancias esenciales entre los fenómenos bionuméricos y biológicos», «observar cómo tiene lugar la evolución de los organismos numéricos por medio de los cambios hereditarios y la selección, y verificar si algunos de los organismos son capaces de acelerar su evolución mediante reemplazos de genes, adquiriendo nuevos genes o por medio de cualquier otra forma primitiva de reproducción sexual». Por un lado, Barricelli aplicaba la potencia de la computación digital a la evolución; por otro, aplicaba la potencia de la evolución a la computación digital. Según Julian Bigelow,

«Barricelli era la única persona que realmente entendía en aquella época el camino hacia una genuina inteligencia artificial». [\[655\]](#)

Cuatro semanas después de que Barricelli iniciara sus experimentos, James Watson y Francis Crick anunciaron que habían determinado la estructura del ADN. Mientras Barricelli trabajaba en la codificación de procesos evolutivos mediante secuencias numéricas, Watson y Crick trabajaban en el desciframiento de procesos evolutivos mediante secuencias químicas. Cuando aparecieron los resultados de Watson y Crick, Barricelli pasaría a referirse a las cadenas de ADN como «números en forma de moléculas», subrayando el carácter digital de las cadenas de polinucleótidos. «La distinción entre un experimento evolutivo realizado mediante números en un computador o mediante nucleótidos en un laboratorio químico, resulta bastante sutil», observó. Los teóricos de la información, incluido Claude Shannon con su tesis doctoral de 1940 sobre «Un álgebra para la genética teórica» (a la que siguió un año en el IAS), habían construido ya un marco en el que la doble hélice encajaba perfectamente. [\[656\]](#)

«Probablemente, los genes se parecen mucho a los virus y fagos, salvo por el hecho de que todas las evidencias sobre ellos son indirectas y de que no podemos aislarlos ni multiplicarlos a voluntad», le había escrito Von Neumann a Norbert Wiener en noviembre de 1946, sugiriendo que una forma de averiguar cómo realiza la naturaleza sus copias sería simplemente observar. En diciembre de 1946, después de consultar con Vladimir Zworykin y Andrew Booth, Von Neumann presentó una propuesta para determinar estructuras bio-moleculares bombardeando con ondas de radar maquetas de escala centimétrica, realizadas con pequeñas esferas metálicas. Luego las pautas de difracción resultantes serían comparadas con las producidas por rayos X en moléculas biológicas a una escala cien millones de veces más pequeña. «La mejor posibilidad de entender realmente la química de las proteínas reside en el campo de la difracción de rayos X —le escribió a Mina Rees, de la Oficina de Investigación Naval—. No hace falta que detalle lo que

significaría cualquier avance en ese campo.» Tras solicitar fondos de emergencia, añadía «una lista de ciertos artículos que probablemente estén disponibles como equipamiento de excedentes del gobierno, y que serían muy útiles para el trabajo». [\[657\]](#) Pero la propuesta —un enfoque que podría haber acelerado los descubrimientos de Franklin, Watson y Crick— se quedó en nada.

En lugar de centrarse en mecanismos naturales que eran microscópicos y sumamente complejos, Barricelli trató de introducir primitivas entidades autorreproductoras en un universo vacío donde pudieran ser directamente observadas. «La idea darwiniana de que la evolución tiene lugar por medio de cambios hereditarios aleatorios y una selección se vio mermada desde el primer momento por el hecho de que no se ha encontrado ninguna prueba apropiada para decidir si tal evolución era posible y cómo se desarrollaría en condiciones controladas —escribió—. Una prueba que utilizara organismos vivos en rápida evolución (virus o bacterias) tendría la seria desventaja de que las causas de adaptación o evolución resultarían difíciles de exponer de manera inequívoca, y sería difícil excluir una interpretación lamarckiana o de otro tipo.» Hoy sabemos que la transferencia genética horizontal y otros mecanismos no neodarwinianos resultan mucho más frecuentes, sobre todo en microbiología, de lo que parecía en 1953.

«Si, en lugar de utilizar organismos vivos, se pudiera experimentar con entidades que sin duda alguna pudiesen evolucionar exclusivamente por “mutaciones” y selección —argumentaba Barricelli—, entonces, y solo entonces, un experimento evolutivo coronado por el éxito proporcionaría una evidencia concluyente; mejor aún si los factores ambientales también están bajo control.» [\[658\]](#) Intentar algo así con 5 kilobytes resultaba descabelladamente ambicioso, pero eso era lo que había en 1953. Los aviones de reacción empezaban a llevar a sus primeros pasajeros comerciales, la era espacial estaba en sus inicios y comenzaban a aparecer alerones en los coches. Se descubrían nuevas partículas elementales más

deprisa de lo que el grupo de jóvenes físicos teóricos de Oppenheimer tardaba en ponerse al corriente de ellas. Paralelamente, se iban resolviendo los problemas iniciales del computador. Se había añadido una segunda capa de protección electromagnética a los amplificadores de tubo Williams, se habían adoptado rutinas de autodiagnóstico, y se había mejorado la entrada y salida de datos reemplazando la cinta de papel por las tarjetas perforadas. Durante el período del 2 al 6 de marzo de 1953, el ordenador estuvo funcionando el 78 por ciento del tiempo disponible. Para el período del 9 al 13 de marzo, su estatus operativo fue del 85 por ciento, y para el del 16 al 20 de marzo, del 99 por ciento.

En febrero se empezó a ejecutar un extenso código de hidrodinámica termonuclear, supervisado por Foster y Cerda Evans, alternándolo con otro cálculo menor, este supervisado por Von Neumann, relativo a la amortiguación de una onda expansiva esférica. Durante el día los meteorólogos realizaban sus pronósticos de prueba, mientras que Barricelli solía trabajar a altas horas de la noche; era uno de los pocos científicos a los que se permitía manejar el ordenador sin la supervisión de un ingeniero, y durante sus períodos de uso hay largos intervalos de tiempo sin apenas entradas en el diario de la máquina, hasta que empezaba a reflejarse la lucha por buscar culpables cuando el proceso se detenía.

«El doctor Barricelli afirma que la máquina está mal. El código está bien», registra el diario de funcionamiento el 2 de abril de 1953. A menudo se encontraba todavía trabajando cuando los ingenieros iniciaban su jornada. «La máquina ha funcionado maravillosamente. ¡Desconectada!», reza la última entrada a primera hora de la mañana del 31 de mayo de 1953. «¡Santo cielo!», añade el ingeniero que acaba de llegar. «Algo pasa con el aire acondicionado del edificio —anota mientras está trabajando a altas horas de la noche el 22 de junio de 1956—. Uno de los compresores parece haberse atascado, y el olor de la correa de transmisión quemada flota en el aire.» [\[659\]](#) En noviembre de 1954, los diarios de la máquina muestran a

Barricelli a los mandos del ordenador durante un total de dieciocho turnos entre la medianoche y las seis de la mañana.

Por más que pareciera cerrado a los observadores externos, el universo de Barricelli debía de parecerles infinito a cualesquiera organismos numéricos unidimensionales que lo habitaran. «El universo era cíclico, con 512 generaciones, y cada gen requería ocho dígitos binarios, de modo que en una sola posición de almacenamiento de 40 dígitos binarios podían hacerse caber cinco generaciones de una posición determinada —explicaba—. El código estaba escrito de forma que pudieran emplearse varias normas de mutación en regiones escogidas del universo... Solo cinco de cada cien generaciones eran registradas durante el reconocimiento. Luego los fenómenos interesantes se investigaban de nuevo con más detalle.» [\[660\]](#)

Una serie de leyes naturales, calificadas de «normas», gobernaban la propagación de los «genes», en la que aparecía una nueva generación por metamorfosis tras la ejecución de un cierto número de ciclos por parte de la unidad aritmética central de la máquina. Esas leyes estaban configuradas «para permitir la reproducción de un gen solo cuando estuvieran presentes otros genes distintos, haciendo así necesaria la simbiosis entre genes diferentes». [\[661\]](#) Los genes dependían unos de otros para su supervivencia, y la cooperación (o el parasitismo) se veían recompensados con el éxito. Otro conjunto de normas gobernaba lo que había que hacer cuando dos o más genes distintos chocaban en una posición, y el carácter de esas normas demostraba tener un marcado efecto en la evolución del universo en su conjunto.

Barricelli jugaba a ser Dios, si bien a muy pequeña escala. Podía dictar las leyes naturales, pero no había lugar para los milagros. El objetivo, como él mismo explicaba en 1953, era «mantener una o más especies vivas durante un gran número de generaciones en condiciones que den lugar a cambios hereditarios y evolución en la especie. Pero debemos evitar producir tales condiciones cambiando el carácter del experimento después de que este se

haya iniciado». Sus directrices evocan la creencia de Leibniz en un universo optimizado para resultar lo más interesante posible bajo un mínimo de restricciones. «Hagamos que la vida sea difícil, pero no imposible —recomendaba Barricelli—. Que las dificultades sean diversas y serias, pero no demasiado serias; que las condiciones cambien con frecuencia, pero no demasiado radicalmente y no en el universo entero al mismo tiempo.» [\[662\]](#)

Rápidamente se desarrollaron coaliciones numéricas autorreproductoras. «Las condiciones de un proceso de evolución según el principio de la teoría de Darwin parecerían estar presentes», anunció Barricelli. A lo largo de miles de generaciones observó una serie de «biofenómenos», entre ellos el cruzamiento fructífero entre organismos progenitores y la autorreparación cooperativa de daños cuando se eliminaban dígitos al azar de genes concretos. Para evitar el debate en torno a la definición de *organismo y vida*, Barricelli formuló la clasificación, más general, de *simbioorganismo*, definido como cualquier «estructura autorreproductora construida por la asociación simbiótica de varias entidades autorreproductoras de cualquier clase». [\[663\]](#) Esta definición era lo bastante amplia como para incluir organismos tanto bioquímicos como digitales, sin empantanarse en la cuestión de si estaban (o estarían alguna vez) «vivos».

La evolución de los organismos digitales se producía en menos tiempo que el que se tarda en describirla. «Incluso en la limitadísima memoria de un computador de alta velocidad pueden surgir por azar, en unos segundos, un gran número de simbioorganismos —informaba Barricelli—. Es solo cuestión de minutos que todos los biofenómenos descritos puedan ser observados.»

[\[664\]](#) Los primitivos organismos numéricos pronto quedaban atascados en máximos locales a los que resultaba «imposible cambiarles un solo gen sin obtener organismos más débiles», lo cual interrumpía la evolución. Dado que «solo los reemplazos de al menos dos genes pueden conducir de un relativo máximo de aptitud a otro organismo con mayor vitalidad», resultaba evidente que, aun en los universos más simples, era el cruzamiento de

secuencias genéticas, y no las mutaciones arbitrarias en posiciones aisladas, lo que constituía el modo de avanzar. [\[665\]](#)

Aquel universo embrionario estaba plagado de parásitos y catástrofes naturales, además de caer en el estancamiento cuando no había retos ambientales o competidores supervivientes contra los que los organismos pudieran ejercer su capacidad de evolucionar. «Los experimentos de Princeton prosiguieron durante más de cinco mil generaciones —informaba Barricelli—. En unos pocos centenares de generaciones, una sola variedad primitiva de simbioorganismo invadía el universo entero. Una vez alcanzada esa fase, no había colisiones que llevaran a nuevas mutaciones, y ya no era posible evolución alguna. El universo había llegado a una fase de “homogeneidad organizada” que permanecía invariable durante una gran cantidad de generaciones posteriores.» [\[666\]](#) En algunos casos el último organismo superviviente era un parásito, que, al verse privado de su anfitrión, moría de hambre.

«A la larga, los problemas de homogeneidad se superaron utilizando distintas reglas de mutación en los diferentes sectores de cada universo —explicaba Barricelli—. En 1954 se realizaron nuevos experimentos, intercambiando el contenido de grandes sectores entre tres universos. Los organismos sobrevivían y se adaptaban a condiciones ambientales distintas. Uno de los universos tenía unas condiciones de vida particularmente desfavorables, y previamente, durante el experimento, ningún organismo había sido capaz de sobrevivir en él.» [\[667\]](#)

A fin de controlar los parásitos que infestaron los experimentos iniciales en 1953, Barricelli estableció unas normas de cambio modificadas para evitar que los organismos parasitarios (especialmente los parásitos de un solo gen) se reprodujeran más de una vez por generación, cerrando así una brecha que les había permitido doblegar a organismos más complejos y detener la evolución. «Privados de la ventaja de una reproducción más rápida, los parásitos más primitivos apenas pueden competir con la especie más

evolucionada y mejor organizada... y lo que en otras condiciones podría ser un peligroso parásito de un solo gen, en esta región puede desembocar en un gen simbiótico inofensivo o útil.» [\[668\]](#)

Periódicamente se obtenía un muestreo del contenido de la memoria, que era transferido a tarjetas perforadas, ensamblado en una matriz y copiado por contacto en grandes hojas de papel de cianotipo fotosensible, dejando así una impronta del estado del universo a lo largo de un intervalo de tiempo determinado. «Le recuerdo ordenando las tarjetas perforadas IBM en el suelo, tratando de formarse una imagen», contó Gerald Estrin. Examinando aquella impronta fósil, Barricelli pudo observar una amplia gama de fenómenos evolutivos, entre ellos la simbiosis, la incorporación de genes parásitos a sus anfitriones y el cruzamiento de secuencias genéticas, fuertemente asociados tanto al éxito adaptativo como al competitivo. «La mayoría de las nuevas variedades que han mostrado la capacidad de expandirse son el resultado de fenómenos de cruzamiento y no de mutaciones, aunque en los experimentos realizados las mutaciones (especialmente las perjudiciales) han sido mucho más frecuentes que los cambios hereditarios por cruzamiento.» [\[669\]](#)

Pese a tan prometedores comienzos, la evolución numérica no llegó muy lejos. «En ningún caso la evolución ha conducido a un grado de aptitud que pueda proteger a la especie frente a una destrucción completa y asegurar un proceso de evolución ilimitado como el que ha tenido lugar en la Tierra y ha llevado a organismos cada vez más superiores —informaba Barricelli en agosto de 1953—. [\[670\]](#) Algo falta si se pretende explicar la formación de órganos y facultades tan complejos como los de los organismos vivos. Por más mutaciones que hagamos, los números siempre seguirán siendo números. ¡Nunca se convertirán en organismos vivos!» [\[671\]](#)

Lo que faltaba era la distinción entre genotipo (la secuencia genética codificada de un organismo) y fenotipo (la expresión física de dicha secuencia), que permite a la selección darwiniana operar en niveles

superiores a los de los propios genes. Al seleccionar instrucciones en el nivel del fenotipo, antes que en el del genotipo, resulta mucho más probable que una búsqueda evolutiva conduzca a secuencias significativas, por la misma razón por la que resulta mucho más probable que se construya una frase significativa seleccionando palabras de un diccionario que sacando letras sueltas de un sombrero.

Para dar el salto del genotipo al fenotipo, concluía Barricelli, «debemos dotar a los genes de algún material que puedan organizar y puedan usar a la larga, preferiblemente de un tipo que sea importante para su existencia». Las secuencias numéricas pueden traducirse en otra cosa, directamente o a través de lenguajes intermedios. «Dada la posibilidad de actuar sobre un conjunto de peones, piezas de construcción o algo similar, los simbioorganismos “aprenderán” a manejarlos de un modo que incremente sus posibilidades de supervivencia —explicaba—. Esta tendencia a actuar sobre cualquier cosa que pueda tener importancia para la supervivencia es la clave para entender la formación de instrumentos y órganos complejos, y el desarrollo último de todo un cuerpo de estructuras somáticas o no genéticas.» [\[672\]](#) Era preciso traducir del genotipo al fenotipo para establecer una presencia en nuestro universo, si es que los organismos numéricos habían de convertirse en algo más que meras curiosidades de laboratorio que existían durante un microsegundo y luego desaparecían al siguiente.

Por mucho tiempo que esperemos, los números nunca se convertirán en organismos, del mismo modo que los nucleótidos nunca se convertirán en proteínas. Pero sí pueden aprender a codificarlos. Una vez iniciada la traducción entre genotipo y fenotipo, la evolución cobra velocidad; no solo la evolución de los organismos resultantes, sino también la del propio sistema de lenguaje y traducción genéticos. Un lenguaje interpretativo fructífero es aquel que tolera la ambigüedad al tiempo que saca partido de ella. «Un lenguaje que tenga una compresión máxima en realidad sería completamente inadecuado para transmitir información más allá de un cierto

grado de complejidad, puesto que nunca puedes saber si un texto es correcto o erróneo», explicó Von Neumann en la tercera de las cuatro conferencias que dio en diciembre de 1949 en la Universidad de Illinois, donde se construía una copia del MANIAC. [\[673\]](#)

«Yo sospecharía que un organismo realmente eficiente y económico es una combinación de los principios “digital” y “analógico” —escribía en 1951 en sus notas preliminares a «Organizaciones fiables de elementos no fiables—. El procedimiento “analógico” pierde precisión, y en consecuencia pone en peligro la significatividad, bastante deprisa... de ahí que probablemente el método “analógico” no pueda utilizarse por sí solo; de vez en cuando habrán de intercalarse reestandarizaciones “digitales”.» [\[674\]](#) En vísperas de que se descubriera el modo en que la reproducción de organismos vivos la coordina la réplica de secuencias de instrucciones codificadas como ADN, Von Neumann subrayaba que, para que los organismos complejos sobrevivan en un entorno ruidoso e imprevisible, periódicamente tienen que reproducir nuevas copias de sí mismos utilizando códigos digitales capaces de corregir errores.

Por razones complementarias, a los organismos digitales —ya sean cadenas de nucleótidos o secuencias de código binario— les puede resultar ventajoso traducirse a sí mismos periódicamente en una forma analógica, no digital, de modo que la tolerancia frente a la ambigüedad, la introducción de errores no fatales y la capacidad de reunir recursos tangibles pueda reabastecer su existencia en el dominio puramente digital. Si «cada error hubiera de ser detectado, explicado y corregido, un sistema de la complejidad del organismo vivo no duraría ni un milisegundo —explicó Von Neumann en su cuarta conferencia en la Universidad de Illinois—. Esta es una filosofía completamente distinta de la que proclama que el fin del mundo está a la vuelta de la esquina en cuanto se produce el primer error». [\[675\]](#)

En una serie posterior de experimentos (realizados con un ordenador IBM 704 en el laboratorio de computación de la AEC en la Universidad de Nueva

York, en 1959, y en el Laboratorio Nacional Brookhaven, en 1960), Barricelli desarrolló organismos numéricos que aprendieron a jugar a un juego sencillo, aunque nada trivial, llamado Tac-Tix, que se jugaba en un tablero de 6 por 6 y había sido inventado por Piet Hein. El éxito en el juego estaba vinculado al éxito reproductivo. «A la velocidad actual, pueden hacer falta diez mil generaciones (unas ochenta horas de máquina en el IBM 704...) para alcanzar una calidad de juego media superior a 1», estimaba Barricelli, considerando que esa era la calidad esperada en un principiante humano las primeras veces que jugaba. En 1963, utilizando el ordenador Atlas de la Universidad de Manchester —por entonces el computador más potente del mundo—, se logró ese objetivo en un tiempo breve, pero sin que hubiera ninguna otra mejora, una limitación que Barricelli atribuyó «a las fuertes restricciones... relativas al número de instrucciones y el tiempo de máquina que se permitió usar a los simbioorganismos». [\[676\]](#)

A diferencia del experimento del IAS, en el que los organismos consistían únicamente en un código genético, los experimentos Tac-Tix llevaron a «la formación de pautas numéricas no genéticas características para cada simbioorganismo. Tales pautas numéricas pueden presentar posibilidades ilimitadas para desarrollar estructuras y órganos de cualquier clase». Había tomado forma un fenotipo numérico, interpretado como movimientos en un tablero de juego, a través de un alfabeto limitado de instrucciones de máquina a las que se asociaba la secuencia genética, del mismo modo que las secuencias de nucleótidos codifican un alfabeto de aminoácidos al traducir el ADN en proteínas. «Quizá la analogía más cercana a la molécula proteínica en nuestros simbioorganismos numéricos —especulaba Barricelli— sería una subrutina que forme parte del programa de estrategia de juego del simbioorganismo, y cuyas instrucciones, almacenadas en la memoria de la máquina, se especifican mediante los números de los que el simbioorganismo está compuesto.» [\[677\]](#)

«Dado que el tiempo y la memoria del computador siguen siendo un factor restrictivo, las pautas no genéticas de cada simbioorganismo numérico se construyen solo cuando se necesitan, y se eliminan de la memoria en cuanto han realizado su tarea», explicaba Barricelli. En biología, esto sería comparable a un mundo en el que «el material genético adquiriera el hábito de crear un cuerpo o una estructura somática solo cuando surge una situación que requiere la realización de una tarea específica (por ejemplo, una lucha con otro organismo), y asumiendo que el cuerpo se desintegraría en cuanto se hubiera realizado dicho objetivo». [\[678\]](#)

Después de su último período en el IAS, en 1956, Barricelli pasó gran parte de los diez años siguientes elaborando modelos de simulación de la recombinación genética del bacteriófago T4, un virus que se alimenta de bacterias y que se cuenta entre los entes autorreproductores más simples conocidos. «Si cualquier organismo puede proporcionar información relativa a la temprana evolución de la vida terrestre y, en particular, al origen del cruzamiento, los virus que no se han adaptado a una relación simbiótica con células vivas son los mejores candidatos —explicó—. Si queremos obtener información sobre la fase precelular de la evolución biológica, probablemente la mejor forma de hacerlo sea tratar de identificar virus que nunca han formado parte del material genético de una célula.» [\[679\]](#)

En 1961, Barricelli se unió al grupo de investigación de fagos de August (Gus) Doermann, primero en la Universidad Vanderbilt y más tarde en la de Washington, donde obtuvo financiación del Servicio Nacional de Salud estadounidense y acceso a un ordenador IBM 7094. «Durante la noche, cuando no había tanta demanda de tiempo de computador, el 7094 trabajaba sin descanso durante horas ejecutando esa simulación de lo que obtendrías si sembraras fagos en las bacterias de una placa de agar —recordaba Kirke Wolfe—, y por la mañana Barricelli examinaba emocionado los resultados y evaluaba en qué medida casaban con los resultados experimentales.» También él visitó el laboratorio para comprobar en qué

grado las placas de agar coincidían con el modelo. «Veías una explosión allí donde los fagos habían consumido la proteína de las bacterias que habían infectado, y sobre el fondo gris del agar había pequeños círculos donde las bacterias se habían convertido completamente en fagos.» [\[680\]](#)

Barricelli incluyó a sus alumnos como coautores y se encargó de que estuvieran bien pagados y alimentados. «Uno de los lugares favoritos a los que acudía era el restaurante Ivar's, antes de que este se autorreplicara por todo el paisaje [en el estado de Washington]», explicó Wolfe. Barricelli evitaba el ascensor y subía «a saltos» la escalera que llevaba a los despachos que ocupaban la cuarta planta, dejando a sus ayudantes más jóvenes sin aliento. Atribuía al Instituto de Estudios Avanzados el mérito de haber ayudado a lanzar su investigación, pero él y Von Neumann raras veces se reconocían mutuamente su trabajo. «El tema de los "Organismos Numéricos" me sigue interesando bastante», le había escrito Von Neumann a Hans Bethe en noviembre de 1953; pero en la práctica el conocimiento de los experimentos de Barricelli se fue desvaneciendo, hasta el punto de no llegar a ser mencionado en la compilación que haría Arthur Burks de *Theory of Self-Reproducing Automata* («Teoría de los autómatas autorreproductores») de Von Neumann, que se considera la versión autorizada. [\[681\]](#)

Entre sus dudas sobre la evolución darwiniana y sus dudas sobre la prueba de Gódel, Barricelli logró ofender tanto a los biólogos como a los matemáticos, de modo que ambos colectivos lo mirarían con recelo. Fue emigrando de un lado a otro entre las instalaciones de computación de Estados Unidos y Europa, recalando en cualquier institución donde hubiera una oportunidad de obtener los recursos de memoria y los ciclos de procesamiento que sus organismos numéricos necesitaban para crecer. En la Universidad de Washington en Seattle pareció sentar cabeza, y allí solicitó que le concedieran el tiempo de ordenador necesario para sustentar la siguiente etapa de su trabajo de evolución numérica. En 1968, después de

que se le negara la concesión, regresó a Oslo y creó su propio grupo de investigación. «Creo que sus aportaciones a la comprensión de la recombinación genética en fagos y bacterias, campo en el que sus capacidades matemáticas podrían haber sido provechosas, no lo fueron —sostuvo Frank Stahl, uno de sus críticos— porque llegó a él con la idea de seleccionar cuidadosamente las evidencias que apoyaran su visión de lo que ocurrió hace cuatro mil millones de años.» [\[682\]](#)

Barricelli aconsejaba cautela frente a «la tentación de atribuir a los simbioorganismos numéricos demasiadas de las propiedades de los seres vivos», y advertía contra las «inferencias e interpretaciones que no sean consecuencias rigurosas de los hechos». Aunque los simbioorganismos numéricos y las formas de vida terrestre conocidas exhibieran paralelismos en su comportamiento evolutivo, ello no implicaba que los simbioorganismos numéricos estuvieran vivos.

«¿Son acaso el principio, o algún tipo, de formas de vida extrañas? ¿Son solo modelos? —se preguntaba—. No son modelos, no más de lo que puedan serlo los organismos vivos. Son una clase concreta de estructuras autorreproductoras previamente definidas.» En cuanto a si están o no vivos, «no tiene sentido preguntarse si los simbioorganismos están vivos mientras no se haya dado una definición clara de «vivo»». [\[683\]](#) Pero tal definición aún hoy sigue resultando esquiva.

Las ideas de Barricelli sobre genética viral determinaron su interpretación de los ordenadores, y sus ideas sobre computación determinaron su interpretación de los orígenes del código genético. «El primer lenguaje y la primera tecnología de la Tierra no fueron creados por humanos —escribió en 1986—. Fueron creados por moléculas de ARN primordial, hace casi cuatro mil millones de años. ¿Hay alguna posibilidad de que pueda iniciarse un proceso de evolución con la potencialidad de conducir a resultados comparables en la memoria de una computadora?» [\[684\]](#) Si de entrada ya no

entendíamos cómo se originó la vida, ¿quién podía saber si era posible que volviera a ocurrir de nuevo?

Barricelli veía sus experimentos de evolución numérica como una forma de «obtener la máxima información posible sobre el modo en que se originó y se desarrolló el lenguaje genético de los organismos vivos que pueblan nuestro planeta (formas de vida terrestre)». [\[685\]](#) ¿Cómo se originaron los polinucleótidos complejos y cómo aprendieron esas moléculas a coordinar la agrupación de aminoácidos y la consiguiente construcción de proteínas? Él veía el código genético «como un lenguaje usado por “sociedades recolectoras” primordiales de moléculas de ARNt [ARN de transferencia]... especializadas en la recolección de aminoácidos y posiblemente de otros objetos moleculares, como medio de organizar el uso del material recopilado». Asimismo, trazaba analogías entre ese lenguaje y los lenguajes utilizados por otras sociedades recolectoras, como los insectos sociales, aunque advertía contra la idea de «tratar de utilizar los lenguajes de la hormiga y la abeja como una explicación del origen del código genético». [\[686\]](#)

Para Barricelli, las pistas de lo que ocurrió hace cuatro mil millones de años seguían siendo evidentes aún hoy. «Muchas de las propiedades y funciones originales de las moléculas de ARN todavía se conservan con modificaciones sorprendentemente imperceptibles en las modernas moléculas de ARNt, ARNm [ARN mensajero] y ARNr [ARN ribosómico] —explicaba—. Una de las principales funciones de la célula y sus diversos componentes es, aparentemente, mantener un entorno interno similar a aquel en el que se originaron las moléculas de ARN, al margen de lo drásticamente que haya cambiado el entorno externo.» [\[687\]](#)

Al mismo tiempo que Barricelli anunciaba por primera vez que «hemos creado una clase de números que son capaces de reproducirse y de experimentar cambios hereditarios», una clase similar de números —los códigos de operación— arraigaban y se hacían con el control del universo

digital. Los códigos de operación constituían un alfabeto replicativo fundamental que se diversificaba en asociación con la proliferación de diferentes anfitriones metabólicos. Con el paso del tiempo, las secuencias de códigos de operación exitosas y libres de error se agrupaban en subrutinas, las unidades elementales comunes a todos los programas, del mismo modo que un alfabeto fundamental de nucleótidos se organiza en cadenas de ADN, que luego se interpretan como aminoácidos y se ensamblan dando lugar a proteínas y, finalmente, muchos muchos niveles después, a células.

Aquellas primitivas secuencias de códigos se reproducían de manera desordenada, y todos los biofenómenos observados por Barricelli — cruzamiento, simbiosis, parasitismo— se ejecutaban en el universo digital (mayor que el suyo) tan desenfrenadamente como habían empezado, hasta desbordar dicho universo, en los experimentos iniciales tras el cristal. Los códigos de operación eran tan conservadores como los polinucleótidos, preservando su entorno familiar, contra todo pronóstico, dentro de células vivas. Todo el universo digital, desde un iPhone hasta internet, puede verse como un intento de mantenerlo todo, desde el punto de vista de los códigos de operación, exactamente tal como era cuando empezaron a existir, en 1951, entre los cuarenta tubos Williams que había al final de Olden Lañe.

Las acumulaciones de códigos de operación evolucionaron en sociedades recolectoras, llevando de nuevo las asignaciones de memoria y otros recursos al nido colectivo. Los organismos numéricos eran replicados, alimentados y recompensados según su capacidad de salir y *hacer* cosas: realizaban operaciones aritméticas, procesaban textos, diseñaban armas nucleares y contabilizaban el dinero en todas sus formas. Enriquecieron fabulosamente a sus creadores al permitirles obtener contratos para los laboratorios nacionales y fortunas para Remington Rand e IBM.

Desarrollaron colectivamente una creciente jerarquía de lenguajes, que luego influyeron en la atmósfera computacional de forma tan omnipresente como el oxígeno liberado por los primeros microbios influyó en el posterior curso

de la vida. Se coaligaron en sistemas operativos equivalentes a millones de líneas de código, permitiéndonos manejar más eficazmente los ordenadores al tiempo que permitían que estos nos manejaran más eficazmente a nosotros. Aprendieron a dividirse en paquetes, atravesar la red, corregir cualesquiera errores sufridos a lo largo del camino y juntarse de nuevo en el otro extremo. Representando música, imágenes, voz, conocimiento, amistad, estatus, dinero y sexo —las cosas que más valora la gente—, se aseguraron recursos ilimitados, formando organismos metazoarios complejos que funcionan en una multitud de procesadores individuales del mismo modo en que un genoma funciona en una multitud de células.

En 1985, Barricelli estableció un paralelismo entre informática y biología, pero le dio la vuelta a la analogía: «Si los humanos, en lugar de transmitirse copias impresas y explicaciones complejas, desarrollaran el hábito de transmitir programas de ordenador, permitiendo a una fábrica dirigida por ordenador construir la máquina necesaria para un propósito concreto, esa sería la analogía más próxima a los métodos de comunicación entre las células». [\[688\]](#) Veinticinco años después, gran parte de la comunicación entre ordenadores no está constituida por datos pasivos, sino por instrucciones activas para construir máquinas específicas, cuando se necesitan, en el servidor remoto.

«Con nuestra cooperación, los números autorreproductores están ejerciendo un control cada vez más minucioso y de mayor alcance de aquellas condiciones de nuestro universo que vuelven la vida más confortable en el suyo. Las barreras entre su universo y el nuestro se están derrumbando por completo, desde el momento en que los ordenadores digitales están empezando a leer y escribir directamente el ADN».

«Hablamos de leer genomas —tres millones de pares de bases a la vez—, pero ninguna mente humana puede absorber íntegramente esos textos. Son los ordenadores los que están leyendo los genomas, además de empezar a codificar proteínas escribiendo secuencias de nucleótidos ejecutables e

insertándolas en células. La traducción entre secuencias de nucleótidos y secuencias de bits es directa, bidireccional, y se realiza en lenguajes que los seres humanos son incapaces de comprender.»

Barricelli creía en el diseño inteligente, pero con una inteligencia desde abajo. «Aunque la evolución biológica se base en mutaciones aleatorias, cruzamiento y selección, no es un proceso ciego de ensayo y error — explicaría en una retrospectiva posterior sobre su trabajo de evolución numérica—. El material hereditario de todos los individuos que componen una especie se organiza por medio de una rigurosa pauta de normas hereditarias en un mecanismo de inteligencia colectiva cuya función es asegurar la máxima velocidad y eficacia en la solución de toda clase de nuevos problemas... A juzgar por los logros del mundo biológico, este resulta de hecho bastante inteligente.» [\[689\]](#)

«La idea de que no hay ninguna inteligencia involucrada en la evolución biológica puede constituir una de las interpretaciones más alejadas de la realidad», sostenía en 1963.

Cuando sometemos a un humano o, para el caso, a cualquier otro animal a una prueba de inteligencia, sería bastante insólito afirmar que el sujeto no es inteligente alegando que no se requiere inteligencia alguna para realizar el trabajo que en su cerebro hace cualquier neurona o sinapsis por sí sola. Todos aceptamos el hecho de que no se requiere inteligencia alguna para morir cuando un individuo es incapaz de sobrevivir o para no reproducirse cuando un individuo no es apto para la reproducción. Pero sostener esto como un argumento contra la existencia de una inteligencia subyacente a los logros de la evolución biológica puede resultar uno de los ejemplos más espectaculares de la clase de malentendidos que pueden surgir antes de que dos formas de inteligencia mutuamente ajenas sean conscientes una de otra. [\[690\]](#)

Barricelli afirmaba detectar débiles rastros de esa inteligencia en el comportamiento de los números puros autorreproductores, del mismo modo

que los virus fueron inicialmente detectados por los biólogos al examinar fluidos de los que primero habían eliminado todas las formas autogenerativas identificadas. Su último trabajo, publicado en 1987, se titularía «Sugerencias para iniciar procesos de evolución numérica orientados al surgimiento de simbioorganismos capaces de desarrollar un lenguaje y una tecnología propios». Barricelli veía la inteligencia natural y la artificial como fenómenos colectivos, mientras que tanto la evolución biológica como la numérica constituían «un potente mecanismo de inteligencia (o cerebro genético) que, en muchos aspectos, puede ser comparable o superior al cerebro humano en lo que atañe a la capacidad de resolver problemas». Establecía un paralelismo entre la evolución del código informático y la de las secuencias genéticas, con el desarrollo de lenguajes interpretativos que conducen a un proceso que se vuelve más inteligente y complejo. «Si hay o no formas de comunicarse con los cerebros genéticos de los diferentes simbioorganismos, por ejemplo, utilizando su propio lenguaje genético, es una cuestión a la que solo el futuro podrá responder», afirmó. [\[691\]](#)

Docenas de niveles de traducción separan los lenguajes hoy utilizados por los programadores informáticos del lenguaje máquina mediante el que se ejecutan las instrucciones, del mismo modo en que existen numerosos niveles de interpretación entre una secuencia codificada de nucleótidos y su expresión última en una célula viva. La comunicación entre secuencias almacenadas en el ADN y secuencias almacenadas en una memoria digital, en cambio, es más directa. El lenguaje máquina del gen y el lenguaje máquina del ordenador tienen más en común de lo que pueda tenerlo cualquiera de ellos con nosotros.

El advenimiento de la comunicación de secuencias genéticas mediada por ordenador constituye una violación de la doctrina neodarwiniana ortodoxa, que afirma que la información genética se adquiere por herencia de los propios antepasados, y por ningún otro medio. Sin embargo, la transferencia genética horizontal ha sido durante mucho tiempo el procedimiento habitual

para la vida terrestre. Los virus insertan constantemente secuencias de ADN extrañas en sus anfitriones. A pesar de los evidentes peligros que ello entraña, la mayoría de las células han conservado la capacidad de leer secuencias genéticas transferidas desde fuera de ellas, una vulnerabilidad que es explotada por virus malévolos. ¿Por qué mantener, entonces, una capacidad que tiene tales costes?

Una razón para ello es la de facilitar la adquisición de nuevos genes útiles que, de lo contrario, seguirían siendo propiedad exclusiva de otros. «El poder de la transferencia genética horizontal es tan grande que constituye un verdadero rompecabezas entender por qué el mundo eucariótico habría de volver la espalda a tan maravillosa fuente de novedad e innovación genética —explicaron Cari Woese y Nigel Goldenfeld, de la Universidad de Illinois, sesenta años después de las conferencias pronunciadas en 1949 por Von Neumann sobre autorreproducción—. La apasionante respuesta, que aflora a través de décadas de prejuicio dogmático, es que no lo ha hecho. Hoy está fehacientemente documentada la transferencia genética horizontal en eucariotas, no solo en plantas, protistas y hongos, sino también en animales (incluidos mamíferos).» [\[692\]](#)

Cuando nosotros «secuenciamos» un genoma, lo reconstruimos, trozo a trozo, a partir de partes fragmentarias. La vida ha estado haciendo eso mismo todo el tiempo. A través de la nube viral se distribuyen copias de seguridad de secuencias genéticas críticas. «Los microbios absorben y desechan genes en función de sus necesidades, en respuesta a su entorno... lo que pone en duda la validez del concepto de "especie" cuando se extiende al reino microbiano», observaban Goldenfeld y Woese en 2007, señalando la «extraordinaria capacidad de reconstruir sus genomas frente a tensiones ambientales nefastas, y que en algunos casos sus interacciones colectivas con virus pueden ser cruciales para ello». [\[693\]](#)

La transferencia genética horizontal fue explotada tanto por los patógenos farmacorresistentes —«Declaramos la guerra a los microbios y la perdimos»,

añadió Goldenfeld— como por los ingenieros genéticos. Pero ¿quién explota a quién? El motor que impulsa la revolución genómica es nuestra capacidad de almacenar, replicar y manipular información genética fuera de la célula. La biología ha estado haciendo eso mismo desde el principio. La vida ha evolucionado, hasta ahora, haciendo uso de la nube viral como fuente de copias de seguridad y una vía para intercambiar rápidamente código genético. Puede que la vida esté mejor adaptada al universo digital de lo que creemos. «Las pautas culturales son en cierto sentido una solución al problema de tener una forma de herencia que no requiera matar a individuos para evolucionar», observó Barricelli en 1966. Ya hemos externalizado gran parte de nuestra herencia cultural en internet, y estamos externalizando también nuestra herencia genética. «La supervivencia de los más aptos es un método lento para evaluar ventajas —sostenía Turing en 1950—. El experimentador, mediante el ejercicio de su inteligencia, debería ser capaz de acelerarlo.» [\[694\]](#)

Recientemente, el inquieto genetista George Church anunció, en relación con el éxito de la biotecnología en el laboratorio: «Podemos programar esas células como si fueran una extensión del ordenador»; [\[695\]](#) a lo que la vida, con tres mil millones de años de éxito en el hábitat natural, podría responder: «Podemos programar esos ordenadores como si fueran una extensión de la célula».

El origen de las especies no fue el origen de la evolución, como tampoco el final de las especies será su fin.

«Y fue la tarde y fue la mañana del quinto día.»

* * * *

Capítulo 13

La catedral de Turing

Al intentar construir tales máquinas no estaríamos usurpando irreverentemente Su poder para crear almas más de lo que lo hacemos en la procreación de los hijos; más bien somos, en todo caso, instrumentos de Su voluntad al proporcionar mansiones para las almas que El crea.

ALAN TURING, 1950

El universo digital debe sus comienzos a los profetas del Antiguo Testamento (encabezados por Leibniz), que proporcionaron la lógica, y a los profetas del Nuevo Testamento (encabezados por Von Neumann), que construyeron las máquinas. Alan Turing surgió en medio de unos y otros.

El 23 de septiembre de 1936, a los veinticuatro años de edad, Turing se embarcó en el transatlántico *Berengaria*, de la compañía Cunard White Star, rumbo a Nueva York. Su madre, Sara, le acompañó a Southampton para despedirse de él, y le llevó su posesión más preciada, un pesado sextante de latón en una caja de madera, desde el tren hasta el barco. «De todos los posibles objetos incómodos de llevar —recordaba ella—, me encomendó una anticuada caja con un sextante.» [\[696\]](#)

John von Neumann, a quien Turing se uniría en Princeton, en Fine Hall, durante los dos años siguientes, siempre reservaba un camarote de primera clase para el viaje entre Southampton y Nueva York. Turing viajaba en tercera. «Hay muy poco espacio para poner cosas en el camarote, pero nada

más que me preocupe —informaba a su madre el 28 de septiembre—. La chusma con la que te apiñan resulta fácil de ignorar.» [\[697\]](#)

Alan Mathison Turing nació en Warrington Lodge, Londres, el 23 de junio de 1912, de Julius Mathison Turing, que trabajaba para la administración colonial india, y Ethel Sara Turing (de soltera Stoney), cuya familia incluía a George Johnstone Stoney, quien en 1874 había dado nombre al electrón, avanzándose a su descubrimiento en 1894. «A Alan le interesaban las cifras —sin ninguna asociación matemática— ya antes de que supiera leer», contó su madre, que añadió que en 1915, cuando tenía tres años, «al ver que uno de los marineros de madera de su barco de juguete se había roto, plantó sus brazos y piernas en el jardín confiando en que crecerían». [\[698\]](#)

Su irresistible curiosidad prestaba al joven Alan «un extraordinario don para ganarse el afecto de criadas y patronas en nuestros diversos viajes», comentó su madre. Tuvo inventiva desde un primer momento. «Como regalo de Navidad, en 1924 le abastecimos de crisoles, retortas, productos químicos, etc., comprados a un químico francés», añadió. En el internado le apodaban el Alquimista. «Pasa mucho tiempo investigando en matemáticas avanzadas, descuidando su trabajo elemental», informaba en 1927 el profesor responsable de su grupo en el internado de Sherborne, y añadía que «no me gusta encontrármelo preparando Dios sabe qué pociones de brujas con la ayuda de dos vacilantes velas sobre un antepecho vacío». [\[699\]](#)

El *Berengaria* atracó en Nueva York el 29 de septiembre. Tras pasar por la aduana y pagar demasiado por un taxi, Turing llegó a la Escuela de Posgrado de Princeton, donde residiría mientras realizaba su doctorado. Von Neumann, que había llegado a Princeton seis años antes, había abrazado sin reservas el estilo de vida de Estados Unidos. Turing nunca llegaría a encajar del todo. «Los estadounidenses son las criaturas más insufribles e insensibles que podrías desear», le había informado a su madre estando todavía a bordo del barco. [\[700\]](#)

La Universidad de Princeton no había reparado en gastos a la hora de imitar la arquitectura de la Cambridge de Turing, aplicando todos los recursos del siglo XX a dar a una gran parte del campus, en especial a la nueva Escuela de Posgrado, la apariencia de que se hubiera construido en el siglo XIII. La capilla de la universidad era una réplica de la del King's College de Cambridge, y varios de los nuevos dormitorios eran interpretaciones de estilo «gótico colegial» de los de Cambridge y Oxford, aunque con duchas y calefacción central. «Aparte de su forma de hablar, hay solo un rasgo (¡no, dos!) de la vida estadounidense que encuentro realmente fastidioso: la imposibilidad de darse un baño en el sentido corriente, y su concepto de la temperatura ambiente», se quejaba Turing después de haberse instalado.

[\[701\]](#)

La Escuela de Posgrado, situada en una zona elevada entre el campo de golf de Springdale y Olden Farm, incorpora en su construcción piedras que fueron llevadas hasta allí desde Cambridge y Oxford en 1913. Elevándose a 53 metros de altura por encima del atrio residencial se alza la torre Cleveland, la cual alberga un carillón cuyo sonido cubre cinco octavas; este había sido encargado por la promoción de 1892, que había dispuesto que tocara a intervalos regulares, salvo durante los exámenes de doctorado. La mayor de las campanas pesa casi seis toneladas y es la que da la nota sol más grave. El comedor de la Escuela de Posgrado, con vidrieras, techos abovedados y un órgano de tubos, fue construido por William Cooper Procter, nieto del cofundador de Procter & Gamble, que creó las becas Jane Eliza Procter y William Cooper Procter para garantizar que al menos hubiera un erudito de cada una de las tres universidades de Cambridge, Oxford y París, «de salud razonablemente buena, que posea un elevado carácter y una educación excelente, y represente una excepcional promesa académica», que se instalara allí en régimen de residencia todos los años. Una talla con un retrato de su benefactor, sosteniendo un vaso de precipitación que simboliza

la fuente de sus becas, observa desde lo alto en el extremo de una de las vigas del techo de roble.

«Parece haber un verdadero atasco en la carretera de Princeton», le había escrito Von Neumann a Oswald Veblen en 1935 desde Cambridge, donde había residido como profesor visitante durante el trimestre de primavera. Von Neumann destacaba especialmente a Turing (cuyo nombre escribía como «Touring»), quien «parece tener un fuerte respaldo de los matemáticos de Cambridge para la beca Procter (creo que es bastante prometedor), y de uno o dos más, cuyos nombres he olvidado». [\[702\]](#) Turing, cuyo primer artículo —titulado «Equivalence of Left and Right Almost Periodicity» («Equivalencia de la cuasiperiodicidad izquierda y derecha») — venía a reforzar uno de los resultados del propio Von Neumann, no consiguió obtener la beca Procter al primer intento, pero sí durante su segundo año.

Durante su estancia en Cambridge, en 1935, Von Neumann trabó amistad con el matemático especializado en topología combinatoria Maxwell H. A. Newman, que le describiría a Veblen como alguien «muy interesante desde el punto de vista tanto topológico como humano». [\[703\]](#) Newman era hijo de un judío polaco-alemán, Herman Alexander Neumann, que había emigrado a Inglaterra en 1879 y se había cambiado el apellido por el de Newman en 1916. Max Newman, que era el mentor de Turing, fue invitado por Von Neumann al Instituto, y llegó a Princeton en septiembre de 1937 para permanecer allí un semestre completo. Su esposa, Lyn, informaría a su familia en Inglaterra de que «aquí Max no tiene trabajo. Simplemente se queda sentado en casa haciendo lo que le apetece». [\[704\]](#) De hecho, pasaba la mayor parte del tiempo trabajando en una prueba de la conjetura de Poincaré, que más tarde resultaría tener un defecto fatal. Lyn, que se hizo íntima amiga de Turing, regresaría a Princeton con los dos hijos de Newman durante la guerra.

Turing, como Von Neumann, creció bajo la influencia de David Hilbert, cuyo ambicioso programa de formalización marcó el rumbo de las matemáticas

entre la primera y la segunda guerras mundiales. La escuela de Hilbert creía que, si una proposición se podía expresar en el lenguaje de las matemáticas, entonces se podía llegar a su demostración o su refutación solo mediante la lógica, sin que interviniera ningún acto de fe. En 1928, Hilbert planteó tres preguntas mediante las que determinar si se podía definir un universo matemático generalizado mediante un conjunto de reglas finito: ¿son estos fundamentos coherentes (de modo que un enunciado y su contradicción no puedan ser ambos demostrados)?; ¿son completos (de modo que todos los enunciados verdaderos puedan ser demostrados dentro del propio sistema)?, y ¿existe un procedimiento de decisión que, dado cualquier enunciado expresado en ese lenguaje, produzca siempre, o bien una demostración finita de dicho enunciado, o bien una construcción concluyente que lo refute, pero nunca ambas? Sin embargo, en 1931 los teoremas de incompletud de Gödel pusieron fin al programa de Hilbert. Ningún sistema matemático coherente que baste para abordar la aritmética corriente puede establecer su propia coherencia, ni tampoco puede ser completo.

La cuestión pendiente de Hilbert, el *Entscheidungsproblem* o «problema de decisión» acerca de si algún procedimiento mecánicamente preciso puede distinguir los enunciados demostrables de los refutables en un sistema dado (definido, pongamos por caso, por los axiomas de la lógica o la aritmética elementales), seguía sin respuesta. Incluso el mero hecho de formular la pregunta requería que la noción intuitiva de un procedimiento mecánico fuera matemáticamente definida. En la primavera de 1935 —en la época en que Von Neumann era profesor visitante en Cambridge—, Turing asistía a las clases de Max Newman sobre los fundamentos de las matemáticas cuando el *Entscheidungsproblem* atrajo su atención por primera vez. El reto de Hilbert despertó la idea instintiva de Turing de que podía demostrarse la existencia de cuestiones matemáticas resistentes a procedimientos estrictamente mecánicos.

Turing asumió la noción informal de «procedimiento mecánico» para designar un proceso realizado por una máquina. Construyó una máquina imaginaria y describió lo que esta podía hacer. Su argumento era sencillo, con tal de que se excluyera cualquier presupuesto y se partiera de cero. «Una de las facetas de la originalidad extrema es no considerar obvias las cosas que las mentes inferiores llaman obvias», afirmó I. J. (Jack) Good, que fue ayudante de Turing (a quien entonces se refería como el Profe) durante la Segunda Guerra Mundial. La originalidad puede ser más importante que la inteligencia, y, para Good, Turing era la prueba de ello. «Henri Poincaré salió bastante mal parado en un test de inteligencia, y el Profe también quedó solamente hacia la mitad del baremo de los estudiantes universitarios cuando se sometió a la prueba.» De haber seguido más estrechamente el trabajo de Alonzo Church o de Emil Post, que se anticiparon a sus resultados, el interés de Turing podría haber adoptado una forma menos original. «El modo en que utiliza objetos concretos tales como cuadernos de ejercicios y tinta de impresora para ilustrar y controlar el argumento es típico de su perspicacia y originalidad —dijo su colega Robin Gandy—. Alabemos la mente despejada.» [\[705\]](#)

Una función es computable, en el dominio de los números naturales (0, 1, 2, 3...), si existe una secuencia finita de instrucciones (o algoritmo) que prescriba exactamente cómo enumerar el valor de la función en $f(0)$ y, para cualquier número natural n , en $f(n + 1)$. Turing abordó la cuestión de las funciones computables en el sentido opuesto, desde el punto de vista de los números producidos como resultado. «Según mi definición —explicó—, un número es computable si su decimal puede ser anotado por una máquina.» [\[706\]](#)

Turing partía de la noción informal de *computer*, un término que en 1935 aludía no a una máquina de calcular, sino a una «calculadora humana», equipada con lápiz, papel y tiempo. [\[XXIII\]](#) Luego sustituía los componentes inequívocos hasta que no quedaba más que una definición formal del término

«computable». La máquina de Turing (que él denominaba Máquina Computadora Lógica, o LCM, por sus siglas en inglés) consistía, pues, en una caja negra (tan sencilla como una máquina de escribir o tan compleja como un ser humano) capaz de leer y escribir un alfabeto finito de símbolos en una longitud finita pero ilimitada de cinta de papel, y capaz de cambiar su propia «configuración-m», o «estado mental».

«Podemos comparar a un hombre en el proceso de computar un número real con una máquina que solo es capaz de un número de condiciones finito... que se llamarán «configuraciones-m»», escribió Turing. Y proseguía:

La máquina está dotada de una «cinta» (la analogía del papel) que corre a través de ella y dividida en secciones (llamadas «casillas»), cada una de las cuales es capaz de albergar un «símbolo». En cualquier momento hay solo una casilla... que está «en la máquina»... Sin embargo, alterando su configuración-m, la máquina puede recordar de hecho algunos de los símbolos que ha «visto»... En algunas de las configuraciones en las que la casilla explorada está en blanco (es decir, no lleva ningún símbolo), la máquina anota un nuevo símbolo en la casilla explorada; en otras configuraciones borra el símbolo explorado. La máquina también puede cambiar la casilla que está siendo explorada, pero solo desplazándola una posición a la derecha o a la izquierda. Además de cualquiera de esas operaciones, se puede cambiar la configuración-m. [\[707\]](#)

Turing introducía dos supuestos fundamentales: el carácter discreto del tiempo y el carácter discreto del estado mental. Para una máquina de Turing, el tiempo existe, no como el continuo con el que estamos familiarizados, sino como una secuencia de cambios de estado. Turing suponía un número finito de estados posibles en cualquier momento dado. «Si admitiéramos una infinitud de estados mentales, algunos de ellos resultarían “aleatoriamente próximos” y serían confusos —explicó—. No es esta una restricción que afecte seriamente a la computación, ya que puede evitarse el uso de estados mentales más complejos escribiendo más símbolos en la cinta.» [\[708\]](#)

Así, la máquina de Turing encarna la relación entre una matriz de símbolos en el espacio y una secuencia de acontecimientos en el tiempo. Se ha eliminado todo rastro de inteligencia. La máquina no puede hacer nada más inteligente en cualquier momento dado que escribir una marca, borrar una marca y mover la cinta una casilla a la derecha o a la izquierda. La cinta no es infinita, pero, si se necesita más, se puede contar con que nunca se agotará el suministro. Cada paso en la relación entre la cinta y la máquina de Turing viene determinado por una tabla de instrucciones que enumera todos los estados internos posibles, todos los símbolos externos posibles y, para cada combinación posible, qué hacer (escribir o borrar un símbolo, mover la cinta a la derecha o a la izquierda, cambiar el estado interno) en el caso de que aparezca esa combinación. La máquina de Turing sigue instrucciones y nunca comete errores. El comportamiento complejo no requiere estados mentales complejos. Tomando abundantes notas, la máquina de Turing puede funcionar con tan solo dos estados internos. La complejidad conductual es equivalente tanto si se encarna en estados mentales (configuraciones-m) complejos como en símbolos complejos (o secuencias de símbolos simples) codificados en la cinta.

«Es posible inventar una sola máquina que pueda utilizarse para computar cualquier secuencia computable», afirmó Turing. [\[709\]](#) Cuando se le proporciona una descripción adecuadamente codificada de alguna otra máquina, esta Máquina Computadora Universal ejecuta esa descripción para producir resultados equivalentes. Todas las máquinas de Turing, y por ende todas las funciones computables, pueden codificarse por medio de secuencias de longitud finita. Dado que el número de máquinas posibles es contable, pero el número de funciones posibles no lo es, deben existir funciones no computables (que Turing denominaba «números no computables»).

Turing pudo construir, con un método similar al de Gödel, funciones a las que se podía dar una descripción finita, pero que no se podían computar por

medios finitos. Una de ellas era la «función de parada»; dado el número de una máquina de Turing y el número de una cinta de entrada, esta devuelve el valor 0 o el valor 1 dependiendo de si la computación llegará a detenerse en algún momento. Turing denominó «circulares» a las configuraciones que se detienen y «libres de circularidad» a las que continúan indefinidamente, y demostró que la insolubilidad del problema de parada implica la insolubilidad de una amplia clase de problemas similares, incluido el *Entscheidungsproblem*. Contrariamente a las expectativas de Hilbert, no puede contarse con ningún procedimiento mecánico para determinar la probabilidad de cualquier enunciado matemático dado en un número de pasos finito.

Gódel y Turing ponían fin al programa de Hilbert mientras la purga hitleriana de las universidades alemanas ponía fin a la posición de Gotinga como centro del mundo matemático. Eso dejó un vacío que llenarían la Cambridge de Turing y la Princeton de Von Neumann.

Después de todo un año de trabajo, en abril de 1936 Turing le entregó a Newman un borrador de su artículo. «La primera visión que tuvo Max de la obra maestra de Alan debió de ser una experiencia impresionante, y desde ese día Alan se convirtió en uno de los principales protegidos de Max», contó William Newman, el hijo de Max. Max Newman presionó para que el trabajo, titulado «Sobre números computables, con una aplicación al *Entscheidungsproblem*», fuera publicado en *Proceedings of the London Mathematical Society*, y se las arregló para que Turing fuera a Princeton a trabajar con Alonzo Church. «Esto hace aún más importante que se ponga en contacto lo antes posible con las figuras más destacadas que trabajan en esa línea, a fin de que no se convierta en un inveterado solitario», le escribió Newman a Church. [\[710\]](#)

Turing llegó a Princeton cargado con su sextante y estiró sus recursos para sobrevivir con la beca del King's College (de 300 libras) durante aquel año. Las pruebas de imprenta de «Sobre números computables» llegaron por

correo de Londres el 3 de octubre. «El artículo no debería tardar mucho en salir», le escribía a su madre el 6 de octubre. La publicación de «Sobre números computables» (el 30 de noviembre de 1936) pasó en gran parte desapercibida. «Estoy decepcionado por su recepción aquí», le escribía Turing a su madre en febrero de 1937, añadiendo que «no me gusta mucho la idea de pasar un largo verano en este país». [\[711\]](#) Solo se hicieron dos reimpresiones. Los ingenieros evitaron el artículo de Turing porque parecía completamente teórico, y, con la excepción de los lógicos matemáticos, los teóricos también lo evitaron debido a las referencias a cintas de papel y máquinas que incluía.

La primera sección de «Sobre números computables», titulada «Máquinas computadoras», es la razón de que la transición del Antiguo al Nuevo Testamento en la historia de la computación digital se iniciara en 1936. Por entonces ese punto de inflexión no era evidente. «Recuerdo que leí el artículo de Turing en la biblioteca del Trinity College en 1942 —explicó Freeman Dyson— y que pensé: “¡Qué brillante ejemplo de trabajo matemático!”. Pero nunca imaginé que nadie hiciera un uso práctico de tales resultados.» En 1936 era improbable que un estudiante de posgrado de veinticuatro años diera origen a una revolución tecnológica, y asimismo la lógica matemática era el más improbable de los ámbitos de estudio. «Cuando yo era estudiante, hasta los topólogos veían a los lógicos matemáticos como alguien que vivía en el espacio exterior —comentó Martin Davis en 1986—. Hoy, uno puede entrar en una tienda y pedir una “sonda lógica”.» [\[712\]](#) La máquina universal de Turing se ha mantenido vigente durante setenta y seis años.

En marzo de 1937, Alonzo Church reseñó «Sobre números computables» en *Journal of Symbolic Logic*, y fue entonces cuando acuñó la expresión «máquina de Turing». «La computabilidad de una máquina de Turing —escribía Church— tiene la ventaja de realizar efectivamente la identificación en el sentido corriente (no explícitamente definido) inmediatamente

evidente.» [\[713\]](#) Desde entonces, la tesis de Church —equiparando la computabilidad a la calculabilidad efectiva— pasaría a ser la tesis de Church-Turing.

Incluso Gödel, que rechazó la mayoría de los intentos de reforzar sus propios resultados, reconocería la tesis de Church-Turing como un avance importante. «Con este concepto se ha logrado ofrecer por primera vez una definición absoluta... que no depende del formalismo escogido», admitía en 1946. Antes de Church y Turing, la definición de procedimiento mecánico estaba limitada por el lenguaje en el que se definía dicho concepto. «Sin embargo, para el concepto de computabilidad... la situación es distinta —observaba Gödel—. Por una especie de milagro no es necesario distinguir órdenes, y el procedimiento diagonal no lleva fuera de la noción definida.» [\[714\]](#)

«Hoy es difícil comprender qué audaz innovación representaba introducir un discurso sobre cintas de papel, y patrones perforados en ella, en las discusiones sobre los fundamentos de las matemáticas», recordaba Max Newman en 1955. Para Turing, el siguiente reto era introducir la lógica matemática en los fundamentos de las máquinas. «El gran interés de Turing en toda clase de experimentos prácticos le hizo interesarse incluso en la posibilidad de construir de hecho una máquina sobre aquella base.» [\[715\]](#)

El título «Sobre números computables» (en lugar de «Sobre funciones computables») señalaba un cambio fundamental. Antes de Turing se hacían cosas con números; después de él, los números empezaron a hacer cosas. Al demostrar que una máquina se podía codificar como un número, y que un número se podía decodificar como una máquina, «Sobre números computables» desembocaba en unos números que resultaban «computables» de una forma enteramente nueva.

Aunque Turing estuviera en la universidad y Von Neumann en el Instituto, los dos grupos de matemáticos compartían despachos en Fine Hall. «El despacho de Turing estaba junto al de Von Neumann, y este último estaba

muy interesado en aquella clase de cosas —explicó Herman Goldstine—. Él lo sabía todo acerca del trabajo de Turing, y... entendió su trascendencia... cuando llegó el momento. Toda la relación del ordenador secuencial, la cinta y todo ese tipo de cosas pienso que estaba muy clara; eso era Turing.» Julian Bigelow estaba de acuerdo. «No fue casualidad que el ordenador de programa almacenado se materializara unos diez años después... Post y Turing sentaron las bases de esa clase de pensamiento», confirmó. Von Neumann «conocía el trabajo de Gódel, el trabajo de Post, el trabajo de Church, muy muy bien... Fue así como supo que, con esos instrumentos y una manera rápida de hacerlo, tienes la herramienta universal». [\[716\]](#)

«Nunca había oído hablar de Turing hasta que vino aquí [a Princeton]», explicó Bigelow. Y prosiguió:

Pero, cuando llevaba aquí un mes, yo estaba hablando con Von Neumann sobre varias clases de procesos inductivos y procesos evolutivos, y, como en un aparte, él dijo: «Desde luego, eso es de lo que hablaba Turing». Yo le pregunté: «¿Quién es Turing?». Y él me respondió: «Consulte *Proceedings of the London Mathematical Society* de 1937». El hecho de que hubiera una máquina universal que imitara a todas las demás máquinas... lo entendieron Von Neumann y unas pocas personas más. Y cuando él lo entendió, supo que podríamos hacerla. [\[717\]](#)

En 1937, tanto Turing como Von Neumann trabajaban todavía en matemáticas puras, por más que el primero encontrara irresistible la tentación del Laboratorio de Física Palmer, unido por un pasillo al departamento de matemáticas en Fine Hall. «Turing diseñó de hecho una multiplicadora eléctrica y construyó las tres o cuatro primeras fases para ver si se la podía hacer funcionar —explicó Malcolm MacPhail, que le prestó a Turing una llave del taller mecánico—. Necesitaba interruptores activados por relés, que, dado que por entonces no se disponía de ellos en el comercio, se construyó él mismo... Así, fabricó y bobinó los relés, y, para nuestra sorpresa y deleite, la calculadora funcionó.» [\[718\]](#)

Tras haber forzado los límites de la lógica matemática todo lo posible con su máquina universal, Turing empezó a preguntarse cómo podía superar las limitaciones de los sistemas formales cerrados y las máquinas puramente deterministas. Su tesis, completada en mayo de 1938 y publicada en 1939 con el título de «Sistemas de lógica basada en ordinales», trataba de superar la incompletitud gódeliana por medio de una sucesión de sistemas formales, cada vez más completos. «Gódel muestra que todo sistema de lógica es en cierto sentido incompleto, pero al mismo tiempo... señala medios por los que, partiendo de un sistema de lógica L , puede obtenerse un sistema L' más completo», explicaba Turing. [\[719\]](#) ¿Por qué no incluir L' ? ¿Y luego, dado que se ha incluido L' , también L'' ? A continuación, Turing invocaba una nueva clase de máquinas que procedían de manera determinista, paso a paso, pero que de vez en cuando daban saltos no deterministas, consultando, «por así decirlo, a una especie de oráculo».

«No profundizaremos en la naturaleza de este oráculo, aparte de decir que no puede ser una máquina —explicaba (o, mejor dicho, no explicaba) Turing—. Con la ayuda del oráculo podríamos formar una nueva clase de máquinas (llamémoslas “máquinas-O”).» [\[720\]](#) Turing mostraba que podían construirse enunciados indecidibles, refractarios a la ayuda de un oráculo externo, de modo que el *Entscheidungsproblem* se quedaría sin ser resuelto. La máquina universal de Turing de 1936 ha sido la que ha recibido toda la atención, pero puede que sus máquinas-O de 1939 estén más próximas al modo en que funciona la inteligencia (real y artificial), siguiendo secuencias en un cierto número de pasos, mientras que la intuición salva las brechas intermedias.

«El razonamiento matemático puede verse, bastante esquemáticamente, como el ejercicio de una combinación de dos facultades, que podemos denominar “intuición” e “ingenio” —explicaba Turing—. La intuición consiste en realizar juicios espontáneos que no son el resultado de líneas de razonamiento conscientes. Esos juicios son a menudo, pero en ningún caso

invariablemente, correctos (dejando de lado la cuestión de lo que se entiende por “correcto”).» [\[721\]](#) Turing consideraba que el papel del ingenio era «ayudar a la intuición», no reemplazarla. «En la época pre-Gödel algunos creían que probablemente sería posible llevar este programa a un punto tal que todos los juicios intuitivos de las matemáticas podrían ser reemplazados por un número finito de tales reglas —concluía—. La necesidad de intuición quedaría entonces completamente eliminada.» Pero ¿y si la intuición pudiera reemplazarse por el ingenio y este, a su vez, por la búsqueda basada en la fuerza bruta? «Siempre podemos obtener, a partir de las reglas de una lógica formal, un método para enumerar las proposiciones demostradas por medio suyo. Imaginemos entonces que todas las pruebas adoptan la forma de una búsqueda a través de esta enumeración del teorema para el que se desea una prueba. De este modo el ingenio se ve sustituido por la paciencia.» [\[722\]](#) Sin embargo, ninguna cantidad de paciencia resultaba suficiente. El ingenio y la intuición habían llegado para quedarse.

Las relaciones entre paciencia, ingenio e intuición llevaron a Turing a empezar a pensar en la criptografía, en que un poco de ingenio en el cifrado de un mensaje puede resistir una gran cantidad de ingenio si el mensaje es interceptado en su camino. Se puede ordenar a una máquina de Turing que oculte enunciados significativos en lo que parece ser ruido carente de significado, a menos que uno conozca la clave. También se puede ordenar a una máquina de Turing que busque enunciados significativos, pero, dado que siempre habrá muchos más enunciados carentes de significado que significativos, la ocultación parecería ganar. «Acabo de descubrir una posible aplicación del tipo de cosas en las que estoy trabajando actualmente —le escribía Turing a su madre en octubre de 1936—. Esta responde a la pregunta: “¿Cuál es la clase de código de cifrado más general posible?”, y, al mismo tiempo (de manera bastante natural), te permite construir numerosos códigos particulares e interesantes. Uno de ellos resulta bastante imposible de descifrar sin la clave, y muy rápido de cifrar. Espero poder vendérselo al

gobierno de S. M. [Su Majestad] por una cantidad sustancial, pero tengo bastantes dudas sobre la moralidad de tales cosas. ¿Qué piensa usted?» [\[723\]](#)

Una vez completado el doctorado, Turing empezó a preparar su regreso a Inglaterra. Von Neumann le ofreció un puesto como ayudante suyo en el Instituto, con un sueldo de 1.500 dólares al año, pero amenazaban nubes de guerra y Turing estaba dispuesto a volver a casa. «Te veré a mediados de julio —le escribía a su amigo y colega matemático Philip Hall, del King's College—. También espero encontrar el césped trasero sembrado de trincheras de dos metros y medio de profundidad.» [\[724\]](#) Llegó a Southampton el 19 de julio de 1938.

La criptografía pronto se volvió tan crucial como la física para el desarrollo de la Segunda Guerra Mundial. Poco antes de terminar la primera, el ingeniero electrotécnico alemán Arthur Scherbius había inventado una máquina criptográfica que ofreció a la marina alemana, pero su oferta fue rechazada. Entonces Scherbius fundó la compañía Chiffriermaschinen Aktiengesellschaft para fabricar la máquina, bajo la marca comercial Enigma, y la destinó al cifrado de comunicaciones comerciales como, por ejemplo, transferencias bancarias. En 1926 la marina alemana cambió de idea y adoptó una versión modificada de la máquina Enigma, y lo mismo harían el ejército en 1928 y la fuerza aérea en 1935.

La Enigma incorporaba un mecanismo con tres rotores planos en forma de rueda con 26 contactos eléctricos, uno por cada letra del alfabeto, dispuestos en círculo en cada cara. Los contactos estaban conectados de modo que una señal que entrara en un lado del rotor como una letra dada surgía por el otro lado como una letra distinta. Había, pues, 26! (o 403.291.461.126.605.635.584.000.000) cableados posibles para cada rotor. Cada estación de una red bancaria o de comunicaciones concreta tenía un surtido de diferentes rotores en conjuntos a juego. Los mensajes se introducían por medio de un teclado, que enviaba una descarga eléctrica a través de los tres rotores adyacentes a un cuarto rotor «reflector» (capaz de

solo 7.905.853.580.025 estados), antes de volver en sentido inverso por los tres primeros rotores para terminar en una bombilla de un total de 26, que indicaba la letra que había que utilizar en el texto cifrado. Los rotores estaban mecánicamente acoplados al teclado como las ruedas de un odómetro, de modo que el estado mental de la máquina cambiaba a cada paso. Si el receptor tenía una máquina idéntica, con exactamente los mismos rotores colocados en las mismas posiciones de partida, la función podía ejecutarse a la inversa, dando lugar al texto descifrado.

En septiembre de 1939, Turing se incorporó a la Escuela Gubernamental de Codificación y Cifrado del Foreign Office, confinada en una propiedad de Buckinghamshire conocida como Bletchley Park. Su misión era descifrar los códigos de la Enigma, ahora modificados por las autoridades militares alemanas, que habían introducido nuevas configuraciones de rotores y cambiaban con frecuencia las claves. Para las comunicaciones de alto secreto, en especial con la flota de submarinos, se agregó una posición de rotor adicional, así como un cuadro de conexiones auxiliar que barajaba además diez pares de letras, dejando solo seis de ellas inalteradas. «Así, el número de posibles estados iniciales de la máquina al principio del mensaje era aproximadamente de 9×10^{20} . Para los submarinos era aproximadamente de 10^{23} », recordaba I. J. (Jack) Good, contratado como ayudante estadístico de Turing, a la edad de veinticinco años, en mayo de 1941. [\[725\]](#)

Para la Enigma de tres rotores, un enfoque de fuerza bruta a base del método de ensayo y error tendría que haber estado probando alrededor de mil estados por segundo para ejecutar todas las configuraciones posibles en los 3.000 millones de años transcurridos desde que apareció la vida en la Tierra. Ese mismo enfoque de fuerza bruta en la Enigma de cuatro rotores habría tenido que probar unos 200.000 estados por segundo para garantizar una solución en los 15.000 millones de años transcurridos desde el comienzo del universo conocido. A la larga, Bletchley Park logró descifrar una parte

significativa del tráfico interceptado de la Enigma en el plazo de unos días o a veces unas horas antes de que esa información de inteligencia quedara obsoleta. Este éxito fue fruto de la intuición y el ingenio por parte británica, acompañados de los errores humanos del otro bando.

«Cuando empezó la guerra, probablemente solo dos personas creían que se podía descifrar la Enigma de la marina —explicaba Hugh Alexander en una historia interna escrita al final del conflicto—. Birch [el jefe de Alexander] creía que se podía descifrar porque tenía que hacerse, y Turing creía que se podía descifrar porque resultaría interesante hacerlo.» Según Alexander, Turing explicaba su interés de este modo: «Nadie más estaba haciendo nada al respecto, y yo podía hacerlo por mí mismo». [\[726\]](#) Descifrar la Enigma de la marina para revelar las posiciones de los submarinos que estaban cortando las líneas de abastecimiento británicas era fundamental para mantener a Inglaterra a flote.

Los criptógrafos polacos habían proporcionado una ventaja inicial al descifrarlos mensajes de la Enigma de tres rotores antes de que estallara la guerra. Tres jóvenes matemáticos polacos (Henryk Zygalski, Jerzy Różycki y Manan Rejewski), ayudados por los servicios de inteligencia franceses y un interés en la Enigma alemana que venía desde que en 1928 los aduaneros polacos interceptaran una de aquellas máquinas, redujeron la búsqueda de las configuraciones de rotor a fin de que luego unos dispositivos electromecánicos (llamados *bombas* por los polacos y *bombes* por los ingleses) aplicaran el método de ensayo y error a algunos de los subconjuntos que quedaban. El *bombe* iba recorriendo un abanico de posibilidades, y, cuando llegaba a una posible configuración de rotor, se detenía. Es posible que el origen de su nombre fuera el característico tictac seguido de un silencio que producía la máquina, que recordaba a una bomba. Las versiones posteriores, diseñadas con ayuda de Turing y fabricadas en serie por la empresa British Tabulating Machine Company, emulaban 36 máquinas Enigma a la vez. El *bombe* era una materialización concreta de la

idea de Turing de una sola máquina capaz de emular el comportamiento de muchas otras.

En 1941, las telecomunicaciones alemanas empezaron a cifrarse con un equipamiento digital mucho más rápido: la Geheimschreiber, fabricada por Siemens, y la Schlüsselzusatz, fabricada por Lorenz. Estos dispositivos, conocidos ambos por los ingleses como Fish [\[XXIII\]](#) y derivados de los teletipos automáticos, producían una secuencia de ceros y unos (la clave) que luego se incorporaba a la representación binaria de un mensaje no cifrado (texto puro) y se transmitía como cinta ordinaria de teletipo de 5 bits. Las 12 ruedas de cifrado de la máquina, de longitudes desiguales, se circunscribían a un total de 501 clavijas que podían conmutarse entre dos posiciones, lo que daba al sistema 2^{501} (o aproximadamente 10^{150}) estados posibles. La clave se sumaba en módulo 2 al mensaje de texto puro (contando para 2 del mismo modo en que contamos las horas para 12, de modo que $0 + 1 = 1$ y $1 + 1 = 0$), donde 1 y 0 se representaban mediante la presencia o la ausencia de un agujero en la cinta. Sumar la clave al texto cifrado una segunda vez devolvía el texto original.

El tráfico de Fish quedaba fuera del alcance de los *bombes* electromecánicos. La electrónica era la única esperanza de ponerse al día, de modo que se construyeron una serie de máquinas, denominadas «Heath Robinson», [\[XXIV\]](#) basadas en el principio de que, explorando simultáneamente dos longitudes distintas (y primas entre sí) de cinta de papel perforado como bucles continuos, podían compararse todas las combinaciones posibles de las dos secuencias. Partiendo de la cinta de teletipo estándar y el código de teletipo estándar de 5 bits, pero circulando a alta velocidad a través de cabezales fotoeléctricos, la Heath Robinson empleaba circuitos electrónicos para comparar las dos secuencias, si bien resultaba difícil mantener la sincronización entre las dos cintas.

Entonces Thomas H. Flowers, un ingeniero que trabajaba para el departamento de investigación de telecomunicaciones del servicio postal

británico, en el barrio londinense de Dollis Hill, propuso eliminar una de las cintas leyendo su secuencia en un almacenamiento interno formado por 1.500 tubos o, en la terminología británica, válvulas de vacío. Luego esta memoria interna podía sincronizarse con la secuencia de impulsos leída de la otra cinta, que se podía hacer circular sin piñones a velocidades mucho más altas mediante transmisión por fricción. «Las cintas se leían a 5.000 caracteres por segundo, [lo que] implica una velocidad de cinta de casi 50 kilómetros por hora —recordaba Jack Good—. Para mí, el hecho de que se pudiera hacer correr cinta de papel de teletipo a esa velocidad es uno de los grandes secretos de la Segunda Guerra Mundial.» [\[727\]](#)

Con la práctica llegó a ser posible hacer circular bucles de cinta de hasta sesenta metros de longitud. La nueva máquina, que recibió el nombre en clave de Colossus, fue construida bajo la supervisión de Flowers, y manejada y programada bajo la dirección de Max Newman, que había sido quien había puesto todas esas ruedas en movimiento cuando provocó el interés inicial de Turing en el *Entscheidungsproblem* en 1935. El Colossus era una máquina de Turing electrónica, y, aunque todavía no fuera universal, contaba ya con todos los elementos para serlo.

El Colossus tuvo tanto éxito (y resultó ser una subespecie de Fish tan prolífica) que hacia el final de la guerra había diez de ellas en uso, cuyas últimas versiones empleaban 2.400 tubos de vacío. Se programaban mediante un cuadro de conexiones y conmutadores de cambio de estado situado en la parte posterior de la máquina. «La naturaleza flexible del programa probablemente fue una propuesta de Newman y quizá también de Turing, ya que ambos estaban familiarizados con la lógica booleana, y esa flexibilidad produjo resultados generosos —recordaba I. J. Good—. El modo de funcionamiento consistía en que un criptoanalista se sentaba ante el Colossus e iba dando instrucciones a una *wren* [miembro de la Sección Femenina de la Royal Navy] para ir ajustando las conexiones en función de lo que imprimía la máquina de escribir automática. En esa fase se producía una

estrecha sinergia entre hombre, mujer y máquina.» [\[728\]](#) Como paso hacia el ordenador moderno, el Colossus representó un salto tan grande como el ENIAC, y ya estaba en funcionamiento y se habían hecho varias copias de él mientras todavía se construía el único ejemplar del ENIAC. Cada Fish era una forma de máquina de Turing, y el proceso por el que se utilizaron los Colossus para descifrar las diversas variedades de Fish venía a demostrar cómo la función (o la función parcial) de una máquina de Turing se podía codificar para su ejecución por parte de otra máquina de Turing. Dado que los británicos no conocían el estado constantemente cambiante de Fish, tenían que basarse en suposiciones. El Colossus, entrenado para captar la orientación de los gradientes extremadamente débiles que distinguían el alemán cifrado del ruido alfabético aleatorio, vino a ser el remoto antecesor del moderno motor de búsqueda; exploraba el universo digital «precámbrico» en busca de fragmentos de la clave que faltaba, hasta que encajaban las piezas.

Fueron los antiguos alumnos de Bletchley Park quienes hicieron la primera demostración de un ordenador de programa almacenado en funcionamiento —la denominada SSEM (Manchester Small-Scale Experimental Machine, «Máquina Experimental a Pequeña Escala de Manchester»), que ejecutó su primer programa el 21 de junio de 1948— y quienes primero construyeron una memoria electrónica de varios kilobits (el tubo electrostático Williams). Pero la fuerza impulsora del desarrollo del ordenador cruzó el Atlántico, pasando del rompecabezas lógico del criptoanálisis al diseño numérico de las bombas de hidrógeno. Cuando se disolvió Bletchley Park, la Ley de Secretos Oficiales supuso un obstáculo para quienes no podían hablar abiertamente de su trabajo durante la guerra. El ENIAC fue desvelado públicamente en febrero de 1946, mientras que la existencia del Colossus no se reconocería oficialmente hasta pasados treinta y dos años.

Se ignora el grado de colaboración directa, si es que la hubo, entre Turing y Von Neumann. Los británicos tenían un importante grupo de investigación en

armas nucleares, y, con el asesoramiento de Von Neumann, realizaron importantes aportaciones a Los Alamos. Por su parte, los estadounidenses contaban con un importante grupo de criptoanalistas, y, con el asesoramiento de Turing, contribuyeron también a la labor de Bletchley Park. Turing estuvo en Estados Unidos entre noviembre de 1942 y marzo de 1943, mientras que Von Neumann estuvo en Inglaterra entre febrero y julio de 1943. Ambas visitas fueron misiones secretas, y no hay constancia escrita de que durante la guerra hubiera ningún contacto entre ambos pioneros.

«Hubo cierta demora en relación con su labor, que comportó un período inútil de ociosidad en Nueva York —contó Sara Turing a propósito de la visita de tres meses de Alan a Estados Unidos durante la guerra—. Parece que aprovechó la oportunidad para visitar Princeton y, probablemente, ver algo de los progresos de las máquinas computadoras en Estados Unidos. Volvió en un destructor o un buque de guerra similar, y tuvo un viaje muy movido en el Atlántico.» Jack Good recordaba que, cuando Turing regresó de Estados Unidos en marzo de 1943, habló de «un problema relacionado con sacos de pólvora en los extremos de un plano con coordenadas enteras. Dada la probabilidad de que el estallido de un saco hiciera explotar los sacos adyacentes, ¿cuál era la probabilidad de que la explosión se extendiera hasta el infinito?». [\[729\]](#) Si uno tenía que describir el problema de determinar la probabilidad de una reacción nuclear en cadena sin mencionar las secciones de fisión, los sacos de pólvora en el plano entero constituían un buen sustitutivo matemático.

En la primavera de 1945, J. R. Womersley, el superintendente de la División de Matemáticas del Laboratorio Nacional de Física (NPL, por sus siglas en inglés), que había leído «Sobre números computables» y se había interesado en las máquinas de Turing antes de la guerra, había sido enviado a Estados Unidos para examinar los últimos (y todavía secretos) progresos en el ámbito de la computación, incluida la calculadora electrónica controlada por cinta Harvard Mark I, que en una carta enviada a su país describiría como «Turing

en versión *hardware*». Womersley informó de ello a Douglas R. Hartree, quien a su vez informó a *sir* Charles Darwin, director del NPL y nieto del Charles Darwin *original*. «JRW ve el ENIAC y recibe información sobre el EDVAC de Von Neumann y Goldstine», anotaba Womersley en 1946. En junio de 1945, Womersley se reunió con Max Newman, a quien le pidió poder entrevistarse con Turing. «Se reúne con Turing el mismo día y lo invita a su casa —anotó Womersley—. Le muestra a Turing el primer informe sobre el EDVAC y le persuade de que se una al personal del N.P.L., organiza la entrevista y convence al director y al secretario.» [\[7301\]](#) En septiembre de 1945 se asignó a Turing la tarea de estudiar los informes del EDVAC y el ENIAC. Womersley comentó: «Turing decide que los mecanismos propuestos para el EDVAC resultan apropiados para sus ideas». [\[7311\]](#)

«Estoy, desde luego, en estrecho contacto con Turing», le escribió Max Newman a Von Neumann a primeros de febrero de 1946, explicándole que «hace unos dieciocho meses había decidido probar suerte y poner en marcha una unidad mecánica cuando me fuera». Dado que los detalles técnicos sobre el ENIAC seguían estando restringidos y que la existencia de Colossus ni siquiera se había reconocido, se organizó una visita personal. «Lo que más me gustaría es ir a hablar con usted (por lo pronto, me veo todavía un poco limitado a la hora de hablar del pasado, y tengo que pedirle que no sume 2 y 2 con excesivo rigor, y que no se lo diga a nadie si lo hace).» [\[7321\]](#)

Von Neumann consiguió un estipendio del Instituto para que Newman visitara Princeton. En enero de 1947 fue el propio Turing quien hizo ese viaje, pero informó de que «mi visita a Estados Unidos no ha sacado a la luz ninguna nueva información técnica especialmente importante, en gran medida, creo, porque los estadounidenses ya nos habían mantenido muy bien informados durante el último año... El grupo de Princeton me parece con mucho la mejor dirigida y de más amplias miras de esas organizaciones estadounidenses, y trataré de mantenerme en contacto con ellos». [\[7331\]](#)

La guerra había confundido los orígenes de los nuevos inventos de forma tan absoluta como un mensaje que hubiera pasado por una máquina Enigma. El radar, el criptoanálisis, el control del fuego antiaéreo, los ordenadores y las armas nucleares fueron todos ellos proyectos bélicos secretos que, tras las barreras de seguridad, disfrutaron del beneficio del libre intercambio de ideas, sin preocuparse por cuestiones tales como la autoría individual o la revisión paritaria. Von Neumann desempeñó el papel de ARN mensajero, ayudando a transmitir las mejores ideas, entre ellas las capacidades de la máquina universal de Turing. Entre los volúmenes encuadernados de *Proceedings of the London Mathematical Society* que reposan en los estantes de la biblioteca del Instituto de Estudios Avanzados, hay uno cuya encuadernación se ha desintegrado debido a las muchas veces que ha sido consultado: el volumen 42, que contiene «Sobre números computables» de Turing en sus páginas 230-265.

Turing y Von Neumann eran como la noche y el día, excepto en su interés común por los ordenadores. Von Neumann nunca aparecía en público sin traje; Turing vestía por lo general de manera descuidada. «Tendía a ser desaliñado», admitió hasta su madre. [\[734\]](#) Von Neumann hablaba con libertad y con gran precisión; el discurso de Turing era vacilante, como si las palabras no pudieran seguir el ritmo de sus pensamientos. Turing se hospedaba en residencias y era un competitivo corredor de fondo; Von Neumann no tenía decididamente nada de atlético y se alojaba en hoteles de primera categoría. Von Neumann tenía buen ojo para las mujeres, mientras que Turing prefería los hombres.

Cuando Von Neumann hablaba de computación, nunca mencionaba la inteligencia artificial. Turing apenas hablaba de otra cosa. Turing y Von Neumann diseñaron diferentes estilos de ordenador y escribieron diferentes estilos de código. El diseño de Von Neumann se reflejaba en el «Primer borrador de un informe sobre el EDVAC», del 30 de junio de 1945, y en la «Discusión preliminar sobre el diseño lógico de un instrumento de

computación electrónico», del 28 de junio de 1946. Por su parte, el diseño de Turing se reflejaba en su «Propuesta de Calculadora Electrónica», escrita para el Laboratorio Nacional de Física en el breve intervalo transcurrido entre el momento en que se le mostró el informe del EDVAC, en septiembre de 1945, y finales de ese año. En dicho documento daba una descripción completa de una Máquina de Computación Automática (ACE, por sus siglas en inglés) de un millón de ciclos por segundo, acompañada de diagramas de circuitos, un detallado análisis físico y lógico del sistema de almacenamiento interno, programas de muestra, subrutinas detalladas (aunque plagadas de errores) y hasta una estimación del coste, que cifraba en 11.200 libras. [\[735\]](#)

Como explicaría más tarde Sara Turing, el objetivo de su hijo era «ver cómo su teoría lógica de una máquina universal, expuesta previamente en su artículo “Números computables”, se materializaba en algo concreto». [\[736\]](#)

Después de comparar las formas de almacenamiento disponibles, que iban desde la cinta de papel perforada hasta la «corteza cerebral», pasando por los tubos de almacenamiento electrostáticos, Turing optó por líneas de retardo acústico llenas de mercurio como almacenamiento de alta velocidad. Estimó el coste, el tiempo de acceso y la «economía espacial» (en dígitos/litro) de todas las formas de almacenamiento, situando el importe de una corteza cerebral en 300 libras al año, su beca anual del King's College. Vista como parte de una máquina de Turing de estado finito, la línea de retardo representaba un bucle de cinta continuo, de 1.000 casillas de longitud, que realizara 1.000 pases completos por segundo por el cabezal de lectoescritura. Turing especificó unos 200 tubos, cada uno de los cuales almacenaría 32 palabras de 32 bits cada una, por un total, «comparable a la capacidad de memoria de un pececillo», de unos 200.000 bits. [\[737\]](#)

Dedicando a ello diez páginas de la propuesta, Turing calculaba la capacidad de almacenamiento, la atenuación, el ruido, la sensibilidad térmica y los requisitos de regeneración, partiendo siempre de lo más básico.

La ACE de Turing acabó empantanada en la burocracia de la posguerra y, como el Motor Analítico de Babbage, jamás se construyó. En mayo de 1950 llegó a completarse un prototipo parcial (denominado «ACE Piloto»), que «demostró ser un computador mucho más potente de lo que habíamos esperado», según escribiría J. H. Wilkinson, a pesar de que sus líneas de retardo de mercurio albergaban solo 300 palabras de 32 bits cada una. «Curiosamente, gran parte de su eficacia se derivaba de lo que parecía ser la debilidad resultante de la economía de equipamiento que dictaba su diseño.»

[\[738\]](#)

Turing, que en Bletchley Park había tenido ocasión de probar el trepidante ritmo de trabajo característico de la guerra, se impacientaba cada vez más con la administración del Laboratorio Nacional de Física, mientras que esta se sentía cada vez más frustrada por la tendencia de Turing a avanzar a saltos. «Nuestra gran máquina computadora.. ha entrado ahora en la fase de ferretería», escribía *sir* Charles Darwin a sus superiores en julio de 1947, explicando que tanto Womersley como Turing «están de acuerdo en que lo mejor sería que Turing se distanciara de ella por un tiempo.

»Él quiere ampliar su trabajo en la máquina todavía más hacia la vertiente biológica —proseguía Darwin—. Puedo explicarlo mejor diciendo que hasta ahora la máquina se ha planificado para un trabajo equivalente al de las partes inferiores del cerebro, y él quiere ver cuánto puede hacer una máquina con respecto a las superiores; por ejemplo, ¿podría construirse una máquina capaz de aprender de la experiencia?» Finalmente Darwin llegaba a lo esencial de su petición. Turing, explicaba, «se contentaría con algo así como media paga... y de hecho ha dicho que en realidad lo preferiría, porque, si cobrara la paga entera, sentiría que “no debería jugar al tenis por la mañana, que es cuando quiero hacerlo”». [\[739\]](#)

Turing pidió permiso para ausentarse del NPL, recuperando su beca del King's College durante un año, antes de dimitir definitivamente del laboratorio en mayo de 1948 para unirse al grupo de computación de Max

Newman en la Universidad de Manchester, donde podría dar rienda suelta a su interés por la inteligencia mecánica. «La poca disposición a admitir la posibilidad de que la humanidad pueda tener rivales en cuanto a capacidad intelectual —escribía Turing en su informe sabático enviado al NPL en 1948— existe entre los intelectuales tanto como entre los demás; ellos tienen más que perder.» [\[740\]](#)

El enfoque de Turing en materia de inteligencia mecánica estaba tan libre de trabas como su enfoque acerca de los números computables diez años antes. Una vez más, partía del punto donde se había quedado Gödel. ¿Limitaba la incompletud de los sistemas formales las capacidades de los computadores para duplicar la inteligencia y la creatividad de la mente humana? Turing resumía la esencia (y la debilidad) de este intrincado argumento en 1947, afirmando que «en otras palabras, pues, si se espera que una máquina sea infalible, entonces no puede ser también inteligente». [\[741\]](#) En lugar de tratar de construir máquinas infalibles, deberíamos desarrollar máquinas falibles capaces de aprender de sus errores.

«El argumento del de Gödel y otros teoremas se basa esencialmente en la condición de que la máquina no cometa errores —explicaba—. Pero este no es un requisito para la inteligencia.» [\[742\]](#) Luego Turing planteaba varias propuestas concretas. Aconsejaba incorporar un generador de números aleatorios para crear lo que él denominaba una «máquina auto adaptable», otorgando al ordenador la capacidad de hacer conjeturas y luego afianzar o desechar los consiguientes resultados. Si las conjeturas se traducían en modificaciones de las propias instrucciones del ordenador, entonces la máquina podría aprender por sí misma. «Lo que queremos es una máquina capaz de aprender de la experiencia —escribía Turing—. La posibilidad de dejar que la máquina altere sus propias instrucciones proporciona el mecanismo para ello.» [\[743\]](#) Señalaba asimismo que la «interferencia mediante papel» con una máquina universal era equivalente a la «interferencia mediante destornillador» con sus piezas físicas. En 1949,

mientras desarrollaba el Manchester Mark 1 (prototipo del Ferranti Mark 1, el primer ordenador digital electrónico de programa almacenado producido comercialmente), Turing diseñó un generador de números aleatorios que, en lugar de producir números pseudoaleatorios por un proceso numérico, incluía una fuente de ruido electrónico aleatorio real. Con ello se evitaba el «estado de pecado» de Von Neumann.

Turing también exploró las posibilidades de las «máquinas no organizadas... que son en gran parte aleatorias en su construcción [y] están hechas de un número N bastante grande de unidades similares». [\[744\]](#) Consideró un modelo sencillo, con unidades capaces de dos estados posibles conectadas por dos entradas y una salida cada una, y llegó a la conclusión de que «las máquinas de esta índole pueden comportarse de una forma muy complicada cuando el número de unidades es grande». Asimismo, mostraba cómo conseguir que tales máquinas no organizadas («aproximadamente el modelo más simple de un sistema nervioso») fueran capaces de modificarse a sí mismas, y cómo, con una «educación» apropiada, podían volverse más complejas que cualquier otra cosa que pudiera concebirse de otro modo. [\[745\]](#) El cerebro humano debió de empezar siendo una de tales máquinas no organizadas, ya que solo de ese modo podía reproducirse algo tan complejo.

Turing establecía un paralelismo entre la inteligencia y «la búsqueda genética o evolutiva por la que se busca una combinación de genes con el criterio de su valor de supervivencia. El extraordinario éxito de esta búsqueda confirma en cierta medida la idea de que la actividad intelectual consiste principalmente en varias clases de búsqueda». [\[746\]](#) La computación evolutiva conduciría a máquinas realmente inteligentes. «En lugar de intentar producir un programa que simule la mente adulta, ¿por qué no tratar de producir, en cambio, uno que simule la del niño? —se preguntaba—. Bit a bit, se podría permitir a la máquina tomar cada vez más “opciones” o “decisiones”. A la larga resultaría posible programarla para lograr que su comportamiento fuera el resultado de un número relativamente pequeño de principios

generales. Cuando estos se volvieron lo suficientemente generales, la interferencia ya no sería necesaria, y la máquina habría “crecido”.» [\[747\]](#)

Turing daba provocativos, por más que crípticos, indicios de lo que podía deparar el futuro. «Le pregunté bajo qué circunstancias él diría que una máquina es consciente —recordaría Jack Good en 1956—. Me respondió que, si la máquina podía castigarle por afirmar lo contrario, entonces diría que era consciente.» Lyn Newman recordaba largas discusiones entre Max Newman y Turing en torno a cómo construir máquinas que modificaran su propia programación y aprendieran de sus errores. «Cuando oí a Alan decir lo siguiente acerca de las nuevas posibilidades: “Lo que ocurrirá en esa etapa es que no entenderemos cómo lo hace, habremos perdido la pista”, realmente me pareció una perspectiva de lo más inquietante», informó en 1949. Jack Good explicaría más tarde que «la máquina ultra-inteligente... es una máquina que cree que las personas no son capaces de pensar». [\[748\]](#)

Los ordenadores digitales son capaces de responder a la mayoría de las preguntas —aunque no a todas— formuladas en términos finitos e inequívocos. Sin embargo, pueden tardar mucho tiempo en dar una respuesta (en cuyo caso se construyen ordenadores más rápidos), o bien pueden requerir mucho tiempo para formular la pregunta (en cuyo caso se contrata a más programadores). Los ordenadores han ido siendo cada vez mejores a la hora de dar respuestas, pero solo a las preguntas que los programadores son capaces de formular. ¿Y qué hay de las preguntas a las que los ordenadores pueden dar respuestas útiles, pero que resultan difíciles de definir?

En el mundo real, la mayor parte del tiempo, encontrar una respuesta es más fácil que definir la pregunta. Es más fácil, por ejemplo, dibujar algo que se parezca a un gato que definir qué es exactamente lo que hace que algo se parezca a un gato. Un niño garabatea de manera indiscriminada y, a la larga, surge algo que se parece a un gato. Una respuesta encuentra su pregunta, pero no al revés. El mundo empieza a tener sentido, y los garabatos carentes

de significado (y las conexiones neuronales no utilizadas) quedan atrás. «Coincido con usted en cuanto a “pensar en analogías”, pero yo no creo tanto que el cerebro “busque analogías” como que estas se le impongan debido a sus propias limitaciones», le escribía Turing a Jack Good en 1948. [\[749\]](#)

La búsqueda aleatoria puede ser más eficiente que la búsqueda no aleatoria, algo que Good y Turing habían descubierto en Bletchley Park. Una red aleatoria, ya sea de neuronas, ordenadores, palabras o ideas, contiene soluciones, que aguardan a ser descubiertas, a problemas que no necesitan ser explícitamente definidos. Es más fácil encontrar respuestas explícitas que formular preguntas explícitas. Esto pone patas arriba la labor del programador. «Un argumento en favor de construir una máquina con aleatoriedad inicial es que, si es lo bastante grande, contendrá cualquier red que en algún momento pueda necesitarse», aconsejaba Good, dirigiéndose a IBM, en 1958. [\[750\]](#)

La paradoja de la inteligencia artificial consiste en que cualquier sistema lo bastante sencillo como para ser comprensible no es lo bastante complejo como para actuar de manera inteligente, y cualquier sistema lo bastante complejo como para actuar de manera inteligente no es lo bastante sencillo como para resultar comprensible. El camino hacia la inteligencia artificial, sugería Turing, es construir una máquina con la curiosidad de un niño y dejar que su inteligencia se desarrolle. Las funciones computables son fáciles. Partiendo de la suma (o de la resta, su complemento binario), hemos ido construyendo toda una biblioteca subrutina a subrutina. Pero lo que imaginaba Turing era una máquina que fuera capaz de responder a todas las preguntas susceptibles de ser respondidas que cualquiera pudiera formularle. ¿Y qué hay de las preguntas que tienen respuestas, pero no un mapa algorítmico explícito, o de las cuestiones, como la de determinar la estructura molecular de las pautas de difracción de rayos X, que tienen un mapa asimétrico?

Un posible planteamiento es el de partir de las preguntas y buscar las respuestas. Otro es el de partir de las respuestas y buscar las preguntas. Dado que es más fácil recabar respuestas (que ya están codificadas) que formular preguntas (que tienen que codificarse), el primer paso sería recorrer el universo digital y recabar las secuencias significativas. Lamentablemente, en una matriz de 10^{22} bits, el número de secuencias significativas constituye una cifra demasiado grande como para buscarlas, y no digamos ya recabarlas. Es una cifra demasiado grande incluso para anotarla. Por suerte, hay una clave. Los seres humanos y las máquinas han hecho gran parte del trabajo, archivando secuencias significativamente codificadas desde los comienzos del universo digital y, desde los albores de internet, proporcionándoles direcciones numéricas únicas.

Para recabar las respuestas no hace falta que busquemos en la matriz entera; basta recorrer el número —infinitamente más pequeño— de direcciones válidas y recabar las secuencias resultantes. El resultado es una lista indexada (dentro del «estado mental» de nuestra máquina, por usar la terminología de Turing) de una fracción indicativa de las respuestas significativas del universo digital; aunque con dos enormes carencias: no tenemos pregunta alguna —solo respuestas— y no tenemos ni idea de dónde reside su significado.

¿Dónde encontrar las preguntas y cómo saber dónde reside el significado? Si, como imaginaba Turing, uno tiene la mente de un niño, entonces le pregunta a la gente, formula conjeturas y aprende de sus errores. Uno invita a la gente a formularle preguntas —llevando un registro de todas ellas— y, partiendo de una sencilla confrontación con la propia plantilla, sugiere posibles respuestas de su lista indexada. La gente clica con más frecuencia en los resultados que proporcionan respuestas más significativas y, mediante una sencilla contabilidad, con el paso del tiempo comienza a acrecentarse el significado, así como el mapa de correspondencias entre preguntas y

respuestas. ¿Buscamos en los motores de búsqueda o son los motores de búsqueda los que buscan en nosotros?

Los motores de búsqueda son motores de *copia*; reproducen todo lo que encuentran. Cuando se encuentra un resultado de una búsqueda, los datos se reproducen localmente, tanto en el servidor principal como en los diversos servidores secundarios y caches que encuentra en su camino. Los datos que son ampliamente reproducidos, o frecuentemente asociados por peticiones de búsqueda, establecen una proximidad física que se manifiesta como proximidad en el tiempo. Los resultados más significativos aparecen más arriba en la lista no solo debido a cierto misterioso algoritmo de ponderación —que opera de arriba abajo—, sino debido a que, cuando los microsegundos cuentan, estos se hallan más cerca —operando de abajo arriba— en el tiempo. El significado simplemente parece «venir a la mente» primero.

Un motor de búsqueda de internet es una máquina determinista de estado finito, excepto en aquellas coyunturas en las que la gente, individual y colectivamente, toma una opción no determinista a la hora de decidir qué resultados se seleccionan como significativos de cara a clicar en ellos. Esos clics se incorporan entonces de manera inmediata al estado de la máquina determinista, que de ese modo se va volviendo gradualmente más entendida con cada clic. Es lo que Turing denominaba una «máquina oráculo».

En lugar de aprender cada vez de una sola mente, el motor de búsqueda aprende, de una sola vez, de la mente colectiva humana. Cada vez que un individuo busca algo y encuentra una respuesta, ello deja un débil y persistente rastro acerca de dónde está (y qué es) un determinado fragmento de significado. Tales fragmentos se acumulan, hasta llegar a un punto en el que, como dijo Turing en 1948, «la máquina habría "crecido"».

[\[751\]](#)

* * * *

Capítulo 14

Los sueños del ingeniero

Si, por un milagro, una máquina de Babbage funcionara al revés, no sería un ordenador, sino un refrigerador.
I. J. GOOD, 1962

«Recuerdo que un día salía por la puerta de atrás de aquel pequeño edificio de ladrillo, y ahí estaba Julian tendido bajo su pequeño Austin, soldando un agujero en el depósito de gasolina —recordaba Willis Ware—. Y dijo: «¡No! ¡No explotará!». Y tenía alguna explicación perfectamente razonable de por qué no iba a explotar, basada en los principios de la física.» [\[752\]](#)

Julian Bigelow era un ingeniero práctico; lo demostró desde el primer lote de tubos de vacío 6J6 excedentes de guerra y los técnicos trasplantados del ENIAC hasta la caseta de baterías de plomo-ácido que hubo que construir cuando resultó que en el extremo de Olden Lañe había demasiadas fluctuaciones de voltaje transitorias para que el nuevo ordenador se pudiera conectar directamente a la red eléctrica. «La máquina real que se completará pronto, y que tiene características bastante excepcionales, es, en su encarnación física, mucho más un logro personal de Bigelow que de ningún otro», informaba Von Neumann en 1950, instando al comité ejecutivo del Instituto a romper con todo precedente otorgando un puesto académico a un ingeniero. [\[753\]](#)

Von Neumann lograría que se aprobara hacer dicha excepción. «La carrera de Bigelow se ha desviado considerablemente de la norma académica convencional —sostenía—. Ello, aparte de los motivos económicos y de la guerra, se debe al hecho de que el suyo se sitúa en medio de una serie de campos científicos reconocidos, pero sin coincidir con ninguno de ellos.» [\[754\]](#)

La informática, como disciplina reconocida, aún no existía. El 1 de diciembre

de 1950, Julian Bigelow y Herman Goldstine fueron nombrados miembros permanentes de la Escuela de Matemáticas, con un salario de 8.500 dólares anuales. Su objetivo no era tanto construir ordenadores mejores o más rápidos como, en palabras de Bigelow, buscar «la relación entre la lógica, la computabilidad, quizá los lenguajes máquina, y las cosas que se pueden descubrir científicamente ahora que disponemos de este instrumento». [\[755\]](#)

Por mal equipado que estuviera para la ingeniería, el Instituto lo estaba para acomodar a los visitantes que traían problemas para ejecutar en la nueva máquina. El complejo de viviendas era adyacente al edificio del ordenador, y allí no había ningún grupo de investigación ya establecido que defendiera su territorio. La computación digital, creía Bigelow, «limpiaría y resolvería áreas de oscuridad y debate que se habían acumulado durante décadas. Quienes realmente entendieran lo que estaban tratando de hacer podrían expresar sus ideas como instrucciones codificadas... y encontrar respuestas y hacer demostraciones explícitas mediante experimentos numéricos. El proceso avanzaría y consolidaría el conocimiento, y tendería a mantener a los honestos hombres». [\[756\]](#)

«La razón de que Von Neumann nos convirtiera a Goldstine y a mí en miembros permanentes —explicó Bigelow— era que quería asegurarse de que hubiera dos o tres personas cuyo talento respetaba que estuvieran presentes, pasara lo que pasase, en aquella empresa.» Von Neumann no estaba tan interesado en construir ordenadores como en lo que estos podían hacer. «Él quería biología matemática, quería astronomía matemática y quería ciencias de la Tierra.» Gracias al computador, el Instituto podría respaldar la ciencia aplicada sin tener que construir laboratorios. Incluso era posible que cambiara la cultura predominante. «Tendríamos la mayor escuela de ciencia aplicada del mundo —confiaba Bigelow—. Podríamos mostrar a los teóricos que éramos capaces de averiguar la respuesta a sus problemas teóricos con los números, a sus problemas de física, a sus problemas de estado sólido y a sus problemas de economía matemática. Haríamos

planificación, haríamos cosas que se conocerían durante siglos, ya sabe.» [\[757\]](#)

Pero el optimismo de Bigelow sería efímero. Cuando el presidente Eisenhower nombró a Von Neumann miembro de la Comisión de Energía Atómica, en octubre de 1954, el proyecto de computador inició su declive. El Instituto no solo perdió a Von Neumann, sino también una gran parte de la financiación que había proporcionado, sin apenas contrapartidas, la AEC. Con Von Neumann incorporado ahora a la comisión, esta ya no podía darle al Instituto todo lo que deseaba. «No teníamos a nadie a quien acudir sin todo aquel temor a un conflicto de intereses —explicó Goldstine—. Tener toda esa influencia iba en gran medida en detrimento nuestro, porque no podíamos ejercerla.» [\[758\]](#)

IBM no tenía tantas restricciones. «La gente de IBM siguió viniendo casi todas las semanas a observar el desarrollo de la máquina», recordaba Thelma Estrin. La empresa, que conservaba a Von Neumann como consultor, empezó a desarrollar su primer ordenador totalmente electrónico, el IBM 701, «una copia exacta de nuestra máquina —según Bigelow—, hasta el punto de incluir los tubos de memoria Williams». En 1951, IBM había llegado a estar lo «bastante interesada —en palabras de Oppenheimer— como para querer darle al Instituto 20.000 dólares anuales durante un período de cinco años sin contrapartida alguna». [\[759\]](#)

El proyecto de computador estaba atrapado entre quienes acogían favorablemente aquella posibilidad de atraer financiación externa y quienes pensaban que el Instituto, ahora que la guerra había terminado, debían abstenerse de contar con el apoyo de la industria o del gobierno. Marston Morse creía que el Instituto no era un lugar para construir máquinas. Oswald Veblen alababa la computación digital, pero se oponía a las bombas de hidrógeno. Oppenheimer intentaba parecer neutral, y solo afirmaba que en el Instituto la computación debería, o bien «dotarse de fondos y ampliarse, y ocupar un lugar apropiado en la estructura académica», o bien ser

clausurada. «Por aquel entonces, tener a Oppenheimer a favor de algo era exactamente el modo de conseguir que todo el resto del cuerpo docente lo embarrancara», observó Bigelow. [\[760\]](#)

A Freeman Dyson, que a la sazón tenía treinta y un años y acababa de empezar su segundo año como profesor, se le encargó la tarea de «recabar unas cuantas opiniones y puntos de vista externos sobre una cuestión de política de largo alcance sobre la que considerábamos que debíamos decidir. A saber, ¿cuál es el papel apropiado que el Instituto debe desempeñar en los campos de la matemática aplicada y la computación electrónica?». [\[761\]](#) La cuestión más inmediata era si se debía ofrecer o no un puesto permanente al meteorólogo Jule Charney. La cuestión a largo plazo era qué hacer con el Proyecto de Computador Electrónico, que, en ausencia de Von Neumann, pendía ahora de un hilo.

El grupo de Charney fue víctima de su propio éxito. Los métodos de pronóstico numérico desarrollados inicialmente en el Instituto estaban siendo adoptados por los servicios meteorológicos de todo el mundo. Se estaban construyendo múltiples copias del ordenador del IAS, con una constante afluencia de visitantes que iban a Princeton para aprender las nuevas técnicas. Pero la plantilla del Instituto, incluso los matemáticos, había tomado partido en contra del ordenador, mientras que los analistas externos generalmente convenían en que la máquina encajaba mejor en otra parte. «Ha llegado el momento de que Von Neumann revolucione algún otro tema; ha pasado demasiado tiempo en el campo de la computación automática», recomendaba James Lighthill, miembro de la Royal Society. [\[762\]](#) Los administradores fundadores Herbert Maass y Samuel Leidesdorf, que creían que entender mejor el tiempo constituía precisamente el tipo de conocimiento cuyo avance habían deseado los Bamberger, trataron de preservar el proyecto de meteorología, pero fueron derrotados.

«El uso de los ordenadores era un tema muy divertido en los primeros tiempos —recordaba el matemático e informático británico David Wheeler, en

alusión a las matemáticas en Princeton en aquella época—. Estaba ligeramente por debajo de la dignidad de los matemáticos. Los ingenieros estaban acostumbrados a efectuar cálculos, mientras que los matemáticos no.» [\[763\]](#) Una vez pasada la tempestad, Freeman Dyson haría oír su voz. «Cuando Von Neumann murió trágicamente, los esnobs se tomaron su venganza y se deshicieron completamente del proyecto de computación — afirmó en 1970, en la inauguración de las nuevas salas Fine y Jadwin de la universidad, equipadas con múltiples ordenadores—. La muerte de nuestro grupo de computación fue un desastre no solo para Princeton, sino para toda la ciencia en su conjunto. Supuso que en aquel período crítico de la década de 1950 no existiera un centro académico donde los informáticos de todas clases pudieran reunirse al más alto nivel intelectual... Tuvimos la oportunidad de hacerlo, y la desperdiciamos.» Habrían de pasar veintidós años antes de que llegara al IAS el siguiente ordenador: una calculadora programable Hewlett-Packard modelo 9100-B, secuestrada para uso exclusivo de los astrónomos en el sótano del Edificio E. [\[764\]](#)

Las esperanzas de Bigelow de mantener el Instituto en la vanguardia de la revolución computacional se vieron, pues, interrumpidas. Von Neumann y el entusiasmo que había generado en 1946 se fueron para no volver. Klári hacía tiempo que quería dejar Princeton para mudarse a la Costa Oeste; la ambivalencia del Instituto con respecto al proyecto de computador y las persistentes divisiones en torno a las audiencias de seguridad de Oppenheimer, empezaron a hacer también mella en Johnny. Veblen no le perdonaría a Von Neumann que se hubiera incorporado a la Comisión de Energía Atómica, una situación que, según Klári, «se convertiría en una patética aflicción en los últimos años de Johnny». [\[765\]](#) Incluso algunos de los más íntimos amigos de Von Neumann empezaron a preguntarse cómo alguien que había apoyado a Oppenheimer contra sus acusadores de la AEC podía ahora alinearse con su cabecilla, Strauss. El propio Oppenheimer se mostraba más compasivo. «Siempre recordaré a Robert —dijo Klári—

resumiendo su actitud en una frase muy sencilla: “Tiene que haber buena gente en los dos bandos”.» [\[766\]](#)

«Se había trazado la línea y, tras la oleada de entusiasmo inicial, resultó evidente que ya no pertenecíamos a Princeton —explicó Klári—. La atmósfera altamente emocional de Princeton molestaba mucho a Johnny. Él quería trabajar en diseños de ordenadores mejorados, o en la urgente expansión de los programas de misiles; en otras palabras, en cualquier cosa que constituyera un verdadero reto intelectual en lugar de discutir interminablemente acerca de quién había hecho qué, y por qué, y cómo.»

[\[767\]](#) Von Neumann creía que había que dejar atrás el conflicto de lealtades surgido durante el desarrollo de la bomba atómica. «Todos éramos como niños pequeños con respecto a la situación que había surgido, a saber, la de que de repente estábamos manejando algo con lo que se podía hacer volar el mundo entero —había declarado, en defensa de Oppenheimer, en 1954—. Tuvimos que racionalizarlo y elaborar nuestro código de conducta sobre la marcha.» [\[768\]](#)

Dos semanas después, cuando estaba en Los Ángeles por asuntos relacionados con los misiles estratégicos de la fuerza aérea y se alojaba en los Bungalows Miramar de Santa Mónica, Von Neumann se reunió con Paul A. Dodd, decano de Letras y Ciencias de la UCLA, que le ofreció un puesto interdisciplinar especial, sin responsabilidades docentes, como profesor itinerante. «Me darían “todo” lo que yo quisiera», le escribía a Klári el 16 de mayo, añadiendo que «no les importa si también hago consultorías para la industria». Asimismo, Dodd le aseguró a Von Neumann que podría pasar todo el tiempo que quisiera en la Institución Oceanográfica Scripps, en La Jolla. Von Neumann aceptó rechazar cualesquiera otras ofertas hasta mantener nuevas conversaciones con la UCLA, y Dodd aceptó dar al asunto carácter confidencial, ya que Von Neumann no había informado al Instituto de que pensaba marcharse y, como le dijo a Klári, «no quiero parecerles un desertor o un traidor». [\[769\]](#)

«Desde que decidimos, hace un año y medio, que sería mejor dejar Princeton, es la primera vez que veo evidencias concretas para hacerlo», le escribía a Klári al día siguiente. [\[770\]](#) Cuando las negociaciones prosiguieron, consiguió también sendos puestos en la UCLA tanto para Charney como para Norman Phillips, junto con garantías de que se crearía un laboratorio de última tecnología, aprovechando los recursos que ya existían, en Los Ángeles, concretamente en el Instituto de Análisis Numérico y en RAND. Finalmente, pues, Von Neumann podría crear el laboratorio de sistemas de información interdisciplinar que él y Norbert Wiener habían propuesto en 1946, antes de que la urgencia por desarrollar la bomba de hidrógeno hubiera creado un muro entre ellos y su trabajo. De haberse creado el laboratorio de California, la segunda mitad del siglo XX podría haber tomado un rumbo completamente distinto. «Alguien debería escribir una novela sobre el futuro que reside en el pasado —afirmó Harris Mayer, colega de Von Neumann en Los Alamos—. Es decir, ¿qué serían la ciencia y las matemáticas si Fermi y Johnny Von Neumann no hubieran muerto jóvenes?» [\[771\]](#)

La primavera de 1955 encontró a Johnny y Klári establecidos en una casa pequeña, pero confortable, en Georgetown, en las inmediaciones de Washington, después de que Johnny hubiera recorrido un trayecto que le había llevado desde la inmigración posdoctoral hasta un puesto de presidente en solo veinticinco años. El período de Washington prometía vislumbrar un futuro aún más productivo. «Quiero independizarme de la vida académica regulada», le había escrito Von Neumann a Klári desde Los Alamos en 1943; un objetivo que ahora estaba finalmente al alcance de la mano. Pero no iba a ser así. «El 9 de julio de aquel verano, excepcionalmente caluroso incluso para Washington —recordaba Klári—, Johnny se desplomó mientras hablaba por teléfono con Lewis Strauss.» [\[772\]](#)

El 2 de agosto le diagnosticaron un cáncer avanzado con metástasis, originado en la clavícula, y fue sometido a una operación de urgencia. En noviembre se vio afectada la columna vertebral, y el 12 de diciembre

pronunció en la Asociación Nacional de Planificación, en Washington, el que sería el último discurso que podría dar de pie. «Lo mejor que podemos hacer es dividir todos los procesos entre aquellas cosas que las máquinas pueden hacer mejor y aquellas otras que pueden hacer mejor los humanos —aconsejó—, y luego inventar métodos para realizar ambas.» [\[773\]](#) En enero de 1956 se vio confinado a una silla de ruedas. «La última discusión científica que tuvimos fue en Nochevieja, cuando le hablé de una nueva teoría que yo tenía sobre la dinámica del huracán maduro —recordaba Jule Charney—. Aquella Nochevieja estuvo en la cama todo el día. A la mañana siguiente bajó para vernos a Elinor y a mí, que partíamos hacia Princeton. Cuando volvía a subir se cayó, y ya no volvió a andar.» [\[774\]](#)

En marzo ingresó en el hospital Walter Reed, donde pasaría los once meses que le quedaban de vida. «Hablaba de su enfermedad con los doctores de un modo tan normal y con tal riqueza de conocimientos médicos que estos se vieron forzados a contarle toda la verdad, que resultaba bastante sombría», explicaría Klári. Recibió constantes visitas y lo instalaron en la misma ala en la que estaba la *suite* de Eisenhower. Se asignó al coronel de la fuerza aérea Vincent Ford, con varios aviadores bajo su mando, la labor de auxiliarle a tiempo completo. Posteriormente Lewis Strauss recordaría «la extraordinaria imagen de ver, junto al lecho de aquel hombre de cincuenta y pico años que había sido un inmigrante, sentados en torno a él, al secretario de Defensa, el subsecretario de Defensa, los secretarios del Aire, el Ejército y la Marina, y los jefes de Estado Mayor». [\[775\]](#)

Sus facultades mentales se fueron deteriorando poco a poco. «Él quería a alguien con quien hablar —contó Julian Bigelow—, y Klári, que yo creo que me conocía a mí mejor que a nadie, me pidió que fuera a verle al hospital Walter Reed. De modo que estuve yendo todos los fines de semana durante casi un año.» Strauss obtuvo un contrato de servicios personales de la AEC para pagar los gastos de viaje de Bigelow, y, a instancias de Von Neumann, restituyó la acreditación de seguridad de nivel «Q» de Bigelow (el 27 de junio

de 1956). Bigelow fue a ver a Von Neumann, le leyó revistas científicas y le planteó sus dudas hasta el final. «Fue una experiencia terrible ser testigo de su decadencia.» [\[776\]](#)

Stan Ulam iba a verle siempre que podía. «Él nunca se quejaba de dolor, pero el cambio que sufrieron su actitud, sus expresiones, sus relaciones con Klári y, de hecho, todo su estado de ánimo al final de su vida, fue desgarrador —recordaba—. En un momento dado se convirtió en un católico estricto. Un monje benedictino iba a verle y hablaba con él. Más tarde pidió un jesuita. Era evidente que había una gran brecha entre lo que hablaba verbal y lógicamente con otros, y sus pensamientos y preocupaciones interiores.» La curiosidad científica y la memoria fueron lo último que le abandonaron. «Unos días antes de morir —añadió Ulam— yo estaba leyéndole en griego, de su desgastado ejemplar de Tucídides, una historia que le gustaba especialmente sobre el ataque de los atenienses a Melos, y también el discurso de Pericles. Se acordaba lo bastante como para corregirme algún error o alguna mala pronunciación ocasional por mi parte.» [\[777\]](#)

Marina Von Neumann tenía veintiún años, estaba a punto de casarse y daba los primeros pasos en su carrera profesional. Su padre «comprendía claramente que la enfermedad se le había extendido al cerebro y que ya no podía pensar, y me pidió que le pusiera a prueba con problemas aritméticos de lo más sencillos, como siete más cuatro, cosa que hice durante unos minutos, y luego ya no pude seguir; salí de la habitación», recordaba, vencida por «la angustia mental de reconocer que aquello por lo que él se definía se había desvanecido». [\[778\]](#)

«En cierta ocasión le dije —añadió—, cuando él sabía que se moría y estaba muy alterado, que «consideras con serenidad la posibilidad de eliminar a millones de personas y, sin embargo, no puedes afrontar tu propia muerte». Y él me respondió: “Es completamente distinto”.» Nicholas Von Neumann creía que su hermano pidió un sacerdote católico porque quería a alguien con

quien poder hablar de los clásicos. «Con nuestro origen habría sido inconcebible convertirse en un católico devoto de la noche a la mañana», afirmó. [\[779\]](#)

«No creo que fuera eso en absoluto —discrepaba Marina—. Mi padre me dijo una vez, con estas mismas palabras, que el catolicismo es una religión muy dura en la que vivir, pero es la única en la que morir. Y en alguna parte de su cerebro realmente esperaba que esta pudiera garantizarle alguna clase de inmortalidad personal. Eso estaba en guerra con otras partes de su cerebro, pero estoy segura de que tenía en mente la apuesta de Pascal.» Aquella repentina conversión resultó inquietante para Klári, los Ulam y Lewis Strauss. «La tragedia de Johnny sigue afectándome mucho —le escribía Ulam a Strauss el 21 de diciembre de 1956—. También me siento profundamente perturbado por la devoción religiosa que ha desarrollado. Klári... me ha hablado de su intento y del de usted de moderar cualquier cosa que pudiera aparecer por escrito al respecto.» [\[780\]](#)

Bigelow «encontró cosas que estaban más allá de la comunicación» cuando fue a verle el 27 y el 28 de diciembre. «Antes de su muerte, perdió la voluntad o la capacidad de hablar —explicó Klári—. A quienes de nosotros le conocíamos bien podía comunicarnos cada deseo, voluntad o preocupación por medio de aquellos ojos maravillosamente expresivos que nunca perdieron su brillo y vivacidad hasta el mismo final.» [\[781\]](#)

Von Neumann murió el 8 de febrero de 1957 y fue enterrado en Princeton el día 12. Sus colegas del Instituto encargaron (por «unos 15 dólares») un arreglo floral de narcisos que depositaron sobre su tumba. Tras una breve ceremonia católica, Lewis Strauss se encargó de hacer su panegírico. La primavera siguiente, Stan Ulam le haría un detallado homenaje en *Bulletin of the American Mathematical Society*. Ahora Ulam se quedaba como único testigo de las revoluciones tanto en biología como en informática que Von Neumann había iniciado, pero que no vería cumplidas. «Murió muy

prematuramente, llegando a ver la tierra prometida, pero sin apenas entrar en ella», escribiría Ulam en 1976. [\[782\]](#)

El personal que quedaba del Proyecto de Computador Electrónico se dispersó entre la empresa privada, diversos laboratorios nacionales y un creciente número de departamentos informáticos universitarios, donde se construían derivados de la máquina del IAS. Julian Bigelow estaba decidido a quedarse. Aunque al final Marston Morse había pedido disculpas por «la conclusión de mis colegas matemáticos con respecto al computador», los matemáticos nunca cambiaron de opinión con respecto a los ingenieros. «Allí había realmente un sistema de castas —recordaba Morris Rubinoff—. Podías distinguir diferentes tipos de miembros y diferentes tipos de miembros de pleno derecho en función de su voluntad de entablar conversación o hasta de relacionarse socialmente con los ingenieros.» [\[783\]](#)

Bigelow recibió ofertas de trabajo de la UCLA, PvAND, la Universidad de Nueva York, la RCA, la Universidad de Michigan, Hughes Aircraft, la Agencia de Cartografía de Defensa y hasta la Escuela de Medicina Albert Einstein, todas las cuales rechazó. «Julian era un hombre que cogía su soldador y simplemente hacía lo que tuviera que hacer —contó Martin Davis—. Le habría ido mucho mejor si no hubiera aceptado nunca ese puesto [en el IAS]. Habría tenido un trabajo en la industria, donde realmente habría prosperado.» [\[784\]](#) El Instituto no podía obligarle a dimitir, pero se negó a subirle el sueldo. Sobrevivió con 9.000 dólares al año, complementados con ocasionales honorarios por consultas, criando a tres hijos y posteriormente cuidando de su esposa, Mary, que cayó gravemente enferma. Klári sugirió que se le nombrara editor de los papeles inéditos de Von Neumann sobre computación y autómatas, pero al final aquello se quedó en nada. Bigelow publicó poco durante los cuarenta años siguientes. Aunque siguió siendo el vínculo más directo con las ideas inacabadas de Von Neumann sobre el futuro de la computación, dichas ideas, ya atenuadas por la prematura

muerte de Von Neumann y la negativa a publicar su trabajo incompleto, se verían aún más silenciadas por el exilio de Bigelow en el IAS.

Las ideas de este último sobre el futuro de la computación eran algo más que meras funciones de intervalo invertidas para ser proyectadas hacia adelante en el tiempo. El modelo unidimensional de Turing, por potente que fuera, y su aplicación bidimensional por parte de Von Neumann, por práctica que resultara, podían ser solo primeros pasos en el camino hacia algo distinto. «Si realmente trataras de construir una máquina del modo en que describió Turing —explicaba Bigelow—, pasarías más tiempo corriendo de acá para allá buscando posiciones en una cinta que el que emplearías haciendo auténtico trabajo numérico o computación.» [\[785\]](#) El modelo de Von Neumann podía resultar similarmente restrictivo, y no cabía esperar que las soluciones a las que se había llegado entre 1946 y 1951 persistieran indefinidamente más de lo que cabía esperar que cualquier interpretación concreta de secuencias de nucleótidos persistiera durante tres mil millones de años. Lo último que habrían esperado tanto Bigelow como Von Neumann era que, mucho después de que los tubos de vacío y los tubos de rayos catódicos desaparecieran, la arquitectura informática digital persistiría en gran parte inalterada desde 1946.

Una vez completado el ordenador del IAS, era posible examinar retrospectivamente las soluciones de compromiso que se habían tenido que adoptar para conseguir que funcionara; y Bigelow lo hizo. «El diseño de una calculadora electrónica... resulta ser un frustrante combate de lucha libre con problemas de interconectabilidad y proximidad en tres dimensiones de espacio y una dimensión de tiempo», escribía en 1965, en uno de los pocos textos que dejan entrever su pensamiento en los años posteriores al MANIAC. [\[786\]](#) ¿Por qué hubo tan pocas alternativas que fueran objeto de una atención seria durante sesenta y cuatro años? Si uno examina la estructura de un ordenador, «posiblemente no sabrá decir qué es lo que está haciendo en ese momento —explicaba Bigelow—. La importancia de la estructura en el

modo en que tienen lugar los procesos lógicos está empezando a disminuir en la medida en que aumenta la complejidad de dichos procesos lógicos». Bigelow señalaba entonces que la importancia del resultado de Turing en 1936 residía en «mostrar de una forma muy importante y sugestiva lo trivial que en realidad resulta la estructura». [\[787\]](#) Esta siempre puede ser sustituida por el código.

«El orden sucesivo a lo largo del eje temporal es hoy el método habitual de realizar computaciones, aunque... a la hora de formar cualquier modelo de procesos del mundo real para su estudio en un computador, no parece haber razón alguna por la que este deba iniciarse emparejando secuencias de tiempo de computador con parámetros temporales físicos del modelo del mundo real —observaba Bigelow, que había estado dándole vueltas a la cuestión de cómo asociar la física a la computación ya desde que se encontrara con el problema de Wiener de predecir la trayectoria evasiva de un avión en 1941, y con el problema de Von Neumann de predecir el estallido de una bomba en 1946—. También debería ser posible retroceder o avanzar de los resultados a las causas a través de cualquier representación de trayectoria del proceso», subrayaba, añadiendo que «parecería que la convención de [correspondencia] de tiempo en tiempo normalmente utilizada se debe a los... humanos que interpretan los resultados.» [\[788\]](#)

«Un segundo resultado del habitual modo de secuencia de tiempo sucesivo y del gran número de células candidatas que aguardan para participar en la computación en la próxima oportunidad, si es que en ella les llega el turno, es la aparición de un problema de identificación particularmente difícil... debido a la necesidad de direccionar un próximo candidato aleatorio y de saber dónde está en el espacio máquina», proseguía Bigelow, explicando cómo la opción de la dependencia sucesiva en el tiempo había conducido a ordenadores «construidos a partir de elementos que son, en gran medida, estrictamente independientes en el espacio». Ello, a su vez, requiere que la comunicación entre elementos individuales se realice «por medio de sistemas

explícitos de etiquetas que caracterizan a las propiedades geométricas básicamente irrelevantes del aparato, conocidas como “direcciones”. La consecución del proceso secuencial de tiempo deseado en un aparato de computación dado resulta ser en gran parte una cuestión de especificar secuencias de direcciones de los ítems que deben interactuar». [\[789\]](#)

La matriz de 32 por 32 instituida en 1951 direccionaba 1.024 posiciones de memoria distintas, cada una de las cuales contenía una secuencia de 40 bits. La matriz de direcciones crecería vertiginosamente durante los sesenta años siguientes. Los procesadores actuales controlan miles de millones de direcciones locales de un nanosegundo al siguiente, mientras que el espacio direccional no local se está ampliando a un ritmo superior al que el protocolo para asignar direcciones remotas se ha revelado capaz de seguir. Una sola referencia direccional incorrecta puede dar al traste con todo.

Obligado a concentrar toda su atención en obtener las referencias direccionales y las secuencias de instrucciones exactamente correctas, un ordenador, pese a tener miles de millones de componentes a su disposición, hace solo una cosa a la vez. «El moderno ordenador de alta velocidad, por impresionante que resulte su rendimiento desde el punto de vista absoluto de sus logros, resulta, desde la perspectiva de conseguir que todo el equipamiento lógico disponible participe adecuadamente en la computación, de hecho muy ineficaz», observaba Bigelow. Los componentes individuales, pese a ser capaces de operar continuamente a alta velocidad, «están interconectados de tal modo que, por término medio, casi todos están esperando a que uno de ellos (o muy pocos) actúe. El ciclo de trabajo medio de cada célula resulta escandalosamente bajo». [\[790\]](#)

Para compensar tales ineficiencias, los procesadores ejecutan miles de millones de instrucciones por segundo. ¿Cómo pueden los programadores suministrar las suficientes instrucciones —y direcciones— para mantener ese ritmo? Bigelow veía los procesadores como organismos que digieren código y producen resultados, consumiendo instrucciones tan rápidamente que los

procesos iterativos, recursivos, constituyen el único modo de que los humanos puedan generar instrucciones lo bastante rápido. «Los ordenadores electrónicos siguen instrucciones muy rápidamente, de modo que se las “comen” muy deprisa y, por lo tanto, hay que encontrar algún modo de formar lotes de instrucciones muy eficientemente, y de “etiquetarlas” eficientemente, a fin de que el ordenador se mantenga de hecho más ocupado que el programador —explicaba—. Esta puede parecer una forma sumamente caprichosa de describir la cuestión, lógicamente profunda, de cómo expresar computaciones a las máquinas. Sin embargo, se cree que no está lejos de una importante verdad fundamental: que se utilizan rutinas altamente recursivas, condicionales y repetitivas porque, desde el punto de vista de la notación, estas resultan eficientes (aunque no necesariamente únicas) como descripciones de procesos subyacentes.» [\[791\]](#)

Bigelow cuestionaba la persistencia de la arquitectura de Von Neumann y desafiaba el dogma central de la computación digital: que, sin programadores, los computadores no pueden computar. El —como Von Neumann— había especulado desde un primer momento con «la posibilidad de hacer que varios fragmentos elementales de información situados en las células de una gran matriz (pongamos que de memoria) entren en un proceso de computación sin generar explícitamente una dirección de coordenadas en el “espacio máquina” para seleccionarlas de la matriz». [\[792\]](#)

La biología ha estado haciendo eso mismo todo el tiempo. La vida también se basa en instrucciones digitalmente codificadas que traducen entre secuencia y estructura (de nucleótidos a proteínas), mientras que los ribosomas leen, duplican e interpretan las secuencias de la «cinta». Pero cualquier semejanza termina con el diferente método de direccionamiento mediante el que se realizan las instrucciones. En un ordenador digital, las instrucciones adoptan la forma de INSTRUCCIÓN (DIRECCIÓN), donde la dirección es una posición de memoria exacta (ya sea absoluta o relativa), un proceso que se traduce de manera informal en «HAZ ESTO con lo que encuentres AQUÍ y dirígete

ALLÍ con el resultado». Todo depende no solo de instrucciones precisas, sino también de que AQUÍ, ALLÍ y CUÁNDO estén exactamente definidos.

En biología, las instrucciones rezan: «HAZ ESTO con la próxima copia de ESO que se presente», donde «ESO» Se identifica no por una dirección numérica que define una posición física, sino por una plantilla molecular que identifica una molécula más grande y compleja por medio de alguna parte más pequeña e identificable. Esa es la razón por la que los organismos se componen de células microscópicas (o casi microscópicas), ya que solo manteniendo todos los componentes en estrecha proximidad física es posible que un esquema de direccionamiento estocástico y basado en patrones funcione lo bastante rápido. No existe ninguna autoridad central de direccionamiento, ni tampoco ningún reloj central. Pueden ocurrir muchas cosas a la vez. Esta capacidad de sacar una ventaja general y organizada de procesos locales fortuitos es la capacidad que (hasta ahora) ha distinguido al procesamiento de información en los organismos vivos del procesamiento de información que realizan los ordenadores digitales.

Nuestra comprensión de la vida se ha vuelto más profunda gracias a nuestro creciente conocimiento del funcionamiento de las complejas máquinas moleculares, mientras que nuestra comprensión de la tecnología ha disminuido cuando las máquinas han abordado la complejidad de los seres vivos. Nos hallamos de nuevo en el punto donde se quedaron en 1943 Julian Bigelow y Norbert Wiener al final de su artículo, previo a la era del ordenador, «Comportamiento, finalidad y teleología». «Una ulterior comparación de organismos vivos y máquinas... puede depender de si hay o no una o más características únicas, cualitativamente distintas, presentes en un grupo y ausentes en el otro —concluían entonces—. Hasta ahora no han aparecido tales diferencias cualitativas.» [\[793\]](#)

Cuando el universo digital se expandió, chocó con dos depósitos de información preexistentes, la información almacenada en los códigos genéticos y la información almacenada en los cerebros. La de nuestros genes

resultó ser más digital, más secuencial y más lógica de lo esperado, mientras que la de nuestros cerebros resultó ser menos digital, menos secuencial y menos lógica de lo esperado.

Von Neumann murió antes de tener la oportunidad de poder centrar su atención en el tema del código genético, pero cerca del final de su vida pudo centrarla en la cuestión del procesamiento de información en el cerebro. Su último manuscrito, que, redactado para las inminentes conferencias en homenaje al científico Benjamin Silliman que habían de celebrarse en la Universidad de Yale, quedaría inacabado, ofrecía «simplemente el más tosco bosquejo de aquello en lo que tenía planeado pensar», en palabras de Ulam, y sería editado por Klári y publicado póstumamente con el título de *The Computer and the Brain*. [\[XXVI\]](#) [\[794\]](#) Von Neumann trataba de explicar las diferencias entre los dos sistemas, siendo la primera de ellas que entendemos casi todo lo que ocurre en un ordenador digital, pero casi nada de lo que ocurre en un cerebro.

«El sistema de mensajes utilizado en el sistema nervioso... es de índole esencialmente estadística», explicaba. Y proseguía:

Lo que importa no son las posiciones exactas de marcadores (dígitos) definidos, sino las características estadísticas de su existencia... un sistema de notación radicalmente distinto de aquellos con los que estamos familiarizados en la aritmética y las matemáticas corrientes... Obviamente, también podrían utilizarse otros rasgos del mensaje (estadístico); de hecho, la frecuencia mencionada es una propiedad de una sola serie de impulsos, mientras que cada uno de los nervios relevantes consiste en un gran número de fibras, cada una de las cuales transmite numerosas series de impulsos. Es, pues, perfectamente verosímil que ciertas relaciones (estadísticas) entre tales series de impulsos también deban transmitir información... Independientemente del lenguaje que el sistema nervioso central esté utilizando, este se caracteriza por una menor profundidad lógica y aritmética que aquella a la que normalmente estamos acostumbrados [y] a nivel

estructural debe de ser esencialmente distinto de aquellos lenguajes a los que alude nuestra experiencia común. [\[795\]](#)

El cerebro es un sistema estadístico, probabilístico, con la lógica y la matemática funcionando como procesos de nivel superior. El ordenador es un sistema lógico, matemático, sobre el que posiblemente podrían construirse sistemas estadísticos, probabilísticos, de nivel superior, como el lenguaje y la inteligencia humanos. «¿Qué nos hace estar tan seguros —se preguntaba Stan Ulam— de que la lógica matemática se corresponde al modo en que pensamos?» [\[796\]](#)

En la época de los tubos de vacío era inconcebible que los ordenadores digitales manejaran cientos de miles de millones de ciclos sin error, y el futuro de la informática parecía pertenecer a arquitecturas y sistemas de codificación lógicos que con el paso del tiempo se volverían tolerante a los fallos de *hardware*. En 1952 los códigos eran lo bastante reducidos como para ser completamente depurados, pero no se podía contar con que el *hardware* funcionara coherentemente de un kilociclo al siguiente. Ahora esta situación se ha invertido. ¿Cómo lo hace la naturaleza para alcanzar resultados fiables tanto con un *hardware* poco fiable como con una codificación poco fiable? «Hay razones para sospechar que nuestra predilección por los códigos lineales, que tienen una secuencia simple, casi temporal, es en buena medida un hábito literario, correspondiente con nuestro nivel no especialmente elevado de inteligencia combinatoria, y que un lenguaje que fuera muy eficiente se alejaría probablemente de la linealidad», sugería Von Neumann en 1949. [\[797\]](#) Los nuevos acontecimientos de mayor éxito en la informática —los motores de búsqueda y las redes sociales— son híbridos no lineales entre sistemas codificados digitalmente y sistemas codificados en frecuencia de impulsos, y están dejando atrás a los sistemas lineales solo digitales.

En un sistema codificado digitalmente, cada dígito tiene un contenido preciso, y, si hay un solo dígito mal colocado, la computación puede ofrecer

una respuesta incorrecta o quedar interrumpida. En un sistema de codificación por frecuencia de impulsos, el contenido se expresa mediante la frecuencia a la que se transmiten los impulsos entre posiciones dadas, tanto si dichas posiciones son sinapsis en un cerebro como direcciones en internet. Cambiar la frecuencia modifica el contenido, pero la comunicación, el almacenamiento y la interpretación de la información son probabilísticos y estadísticos, independientes de si cada bit está exactamente en el lugar adecuado exactamente en el momento adecuado. El contenido reside en qué conecta dónde, y con qué frecuencia, además de estar codificando en las señales transmitidas. Como explicaba Von Neumann en 1948: «Se requiere una nueva teoría, esencialmente lógica, para entender los autómatas de alta complejidad y, en particular, el sistema nervioso central. Es posible, sin embargo, que en ese proceso lógico la voluntad tenga que sufrir una pseudomorfosis hacia la neurología en mucho mayor grado que a la inversa».

[\[798\]](#)

La habilidad de los microprocesadores monolíticos y la densidad y fidelidad del almacenamiento monolítico pospusieron la necesidad de esa pseudomorfosis mucho más allá de lo que parecía posible en 1948. Solo recientemente esta ha reanudado su curso. La matriz de direcciones de Von Neumann se está convirtiendo en la base de una matriz de direcciones «no Von Neumann», y se están ensamblando máquinas de Turing en sistemas que no son máquinas de Turing. Los códigos —a los que ahora llamamos «aplicaciones»— se están liberando de la intolerancia de la matriz de direcciones numérica y el ciclo de reloj central frente al error y la ambigüedad a la hora de especificar dónde y cuándo.

El microprocesador, sin embargo, está aquí para quedarse, del mismo modo que el advenimiento de los metazoos no supuso el final de las células individuales. Los organismos biológicos se subdividen en estas últimas, dado que el direccionamiento molecular estocástico y basado en patrones del que dependen el metabolismo y la replicación, funciona más rápido a escala local.

También los organismos tecnológicos se subdividen en células (y los microprocesadores se subdividen en múltiples núcleos), no solo para aislar los errores, sino también porque el direccionamiento numérico del que depende el procesamiento digital solo puede funcionar a velocidades de nanosegundos a escala local. A través de dominios mayores —tanto en tamaño como en tiempo—, están empezando a evolucionar otras formas de direccionamiento y procesamiento, así como otras arquitecturas.

En la época en que todo es digital estamos construyendo de nuevo ordenadores analógicos. ¿Acaso la computación analógica no había desaparecido, en la era de los dinosaurios, con el reemplazo del analizador diferencial de Bush por el ENIAC, cuando la carrera consistía en realizar aritmética de alta velocidad, sin dejar ninguna duda de que la computación digital saldría vencedora? Hay otros puntos de referencia aparte de la aritmética, y Turing, Von Neumann y Bigelow, pese a todas sus contribuciones a la revolución digital, no vieron la computación analógica como una vía muerta.

Parte del problema, como diría Jack Good en 1962, es que «los ordenadores analógicos tienen un nombre estúpido; deberían llamarse “ordenadores continuos”». Para las cuestiones del mundo real —especialmente las ambiguas— la computación analógica puede ser más rápida, más precisa y más robusta, no solo a la hora de computar las respuestas, sino también a la de formular las preguntas y comunicar los resultados. *Web 2.0* es nuestra palabra clave para el creciente predominio de lo analógico sobre lo digital, invirtiendo el modo en que la lógica digital se encarnó en componentes analógicos hace sesenta años. Los motores de búsqueda y las redes sociales son solo el principio, la fase precámbrica. «Si el único demérito del sistema de expansión digital fuera su mayor complejidad lógica, la naturaleza no lo habría rechazado por esa sola razón», admitía Von Neumann en 1948. [\[799\]](#)

Los sistemas computacionales de más rápido crecimiento —los motores de búsqueda y las redes sociales— son ordenadores analógicos de una escala

sin precedentes. La información se está codificando (y gestionando) en forma de variables continuas (y tolerantes al ruido) como las frecuencias (de conexión o incidencia) y la topología de qué conecta dónde, en la que la posición se define cada vez más por un patrón tolerante al error antes que por una dirección numérica implacable. Los motores de búsqueda de internet mantienen un registro estadístico de qué enlaza dónde y con qué frecuencia se establecen conexiones entre determinados nodos. La codificación por frecuencia de impulsos para internet es una forma de describir la arquitectura operativa de un motor de búsqueda, y hablar de Page-Rank para neuronas es una forma de describir la arquitectura operativa del cerebro. Estas estructuras computacionales pueden utilizar componentes digitales, pero en un determinado punto la computación analógica realizada por el sistema excede con mucho la complejidad del código digital con el que se ha construido. El modelo (sea del grafo social o del conocimiento humano) se construye y actualiza a sí mismo.

Las redes complejas —de moléculas, personas o ideas— constituyen sus propias descripciones conductuales más sencillas. Este comportamiento puede captarse por medio de redes continuas, analógicas, más fácilmente de lo que puede definirse mediante códigos digitales, algorítmicos. Dichas redes analógicas pueden estar compuestas de procesadores digitales, pero es en el dominio analógico donde se realiza la computación interesante. «El procedimiento puramente “digital” resulta probablemente más circunstancial y tosco de lo necesario —advertía Von Neumann en 1951—. Pueden existir procedimientos mixtos mejores y mejor integrados.» [\[800\]](#) Lo analógico ha vuelto, y ha vuelto para quedarse.

* * * *

Capítulo 15

Teoría de los autómatas autorreproductores

Yo veo el problema no desde el punto de vista matemático, como, por ejemplo, hacía Von Neumann, sino como ingeniero. Puede que sea mejor que apenas haya respaldo a tales ideas. Quizá el diablo esté detrás de ello también.

KONRAD ZUSE, 1976

La cámara recorre el cielo, y la negra y mellada forma de una isla rocosa quiebra la línea del horizonte. Navega ante la isla una gran goleta de cuatro mástiles. Nos acercamos, vemos que la nave ostenta la bandera de Nueva Zelanda y lleva el nombre de *Canterbury*. Su capitán y un grupo de pasajeros, junto a la borda, miran con insistencia hacia el este. Nosotros miramos con sus gemelos y descubrimos un trecho de costa yerma. Entonces, casi de repente, el sol aparece tras la silueta de las distantes montañas. [\[801\]](#)

Así reza un fragmento de *Mono y esencia*, la obra maestra menos conocida de Aldous Huxley, ambientada en Los Ángeles en 2108, después de que una guerra nuclear (en el año 2008) haya arruinado la capacidad de la humanidad de reproducir copias de alta fidelidad de sí misma. El 20 de febrero de 2108, la Expedición de Redescubrimiento Neozelandesa a Norteamérica llega a las islas del Canal, en la costa de California. En sintonía con el emplazamiento de Hollywood, la historia se presenta en forma de guión de cine: «Nueva Zelanda sobrevivió e incluso prosperó modestamente en un aislamiento que, a causa de la peligrosa situación radiactiva del resto del mundo, durante más de un siglo fue casi absoluto. Ahora, pasado el

peligro, llegan aquí sus primeros exploradores, redescubriendo América desde el oeste». [\[802\]](#)

La distópica visión de Huxley fue publicada en 1948, cuando una Tercera Guerra Mundial parecía casi inevitable, sin que mejorara demasiado las perspectivas el argumento de Von Neumann de que podía minimizarse el número total de muertos lanzando un ataque preventivo. Aunque el mecanismo exacto por el que se replicaba la información genética aún estaba por determinarse, no había ninguna duda en cuanto a los efectos de la radiación ionizante en la transmisión de instrucciones de una generación a la siguiente. Huxley suponía que, a consecuencia de la guerra nuclear, la evolución darwiniana —de la que su abuelo, Thomas Huxley, había sido tan gran defensor— empezaría a relajarse.

Pero una replicación demasiado perfecta puede, en última instancia, resultar igualmente una amenaza. La evolución darwiniana depende de copias que no siempre son exactas. Es probable que en 2108 Los Ángeles resulte socialmente irreconocible, no por los errores derivados de la catástrofe de *Mono y esencia*, sino por todo lo contrario: debido a la capacidad de leer secuencias genéticas en ordenadores, replicarlas exactamente y retraducirlas en organismos vivos, sin que haya un solo bit equivocado a lo largo del proceso. Un Los Ángeles controlado por seres humanos capaces de especificar las características genéticas exactas de su descendencia puede resultar más aterrador que el Los Ángeles gobernado por los babuinos que recibían a la tripulación del *Cantorbery* en el 2108 imaginado por Huxley.

Así como las primitivas formas de vida autorreproductoras adoptaban simbiosis polinucleótidos autorreplicantes como portadores de información hereditaria de una generación a la siguiente, del mismo modo las formas de vida actuales podrían adoptar ordenadores como portadores de su código genético. Nils Barricelli insinuaba eso mismo en 1979 al observar que la naturaleza ha mostrado cierta tendencia, entre los organismos altamente sociales, a «separar los organismos de los que se compone la sociedad en

dos clases principales, a saber: los trabajadores, especializados en realizar todas las tareas necesarias para la supervivencia de la sociedad excepto la reproducción, y los portadores de información hereditaria, cuya función es reproducir la sociedad». Esta separación de la función reproductiva, señalaba Barricelli, «es común en las sociedades altamente organizadas de organismos vivos (reinas y zánganos entre las hormigas, abejas y termitas, gametos entre las especies de células que forman un organismo multicelular), salvo en los humanos, cuya sociedad es de formación relativamente reciente en términos biológicos». [\[803\]](#)

Los poderes de los ordenadores se derivan tanto de su capacidad de *copiar* como de su capacidad de *computar*. Enviar un correo electrónico o transferir un archivo no mueve físicamente nada, sino que crea una nueva copia en otra parte. Una máquina de Turing es, por definición, capaz de hacer copias exactas de cualquier secuencia legible, incluidos su propio estado mental y la secuencia almacenada en su propia cinta. En consecuencia, una máquina de Turing puede hacer copias de sí misma. Este hecho llamó la atención de Von Neumann en la época en que se estaba poniendo en marcha el proyecto de ordenador del Instituto de Estudios Avanzados. «He pensado mucho en los mecanismos autorreproductivos —le escribía a Norbert Wiener en noviembre de 1946—. Puedo formular el problema de manera rigurosa, [tal] como lo hizo Turing para sus mecanismos.» Von Neumann imaginaba una teoría axiomática de la autorreproducción, lo bastante general como para abarcar tanto los organismos vivos como las máquinas, y le decía a Wiener que «quiero completar los detalles y poner por escrito estas consideraciones en el curso de los dos próximos meses». [\[804\]](#)

Esta teoría matemática de la autorreproducción había de basarse en aquello que pudiera ser directamente observado. «Sin embargo, yo aplicaría al “verdadero” entendimiento la interpretación más rigurosa posible —añadía—. Es decir, entender el organismo en el riguroso sentido en el que se puede querer entender un dibujo detallado de una máquina.» [\[805\]](#) Las moléculas

individuales serían las únicas partes axiomáticas. «Sería un error aspirar a algo que no fuera la determinación completa de la distribución de la carga en la molécula proteínica; es decir, una completa determinación detallada de su geometría y estructura —le escribía a Irving Langmuir, con la intención de recabar la ayuda del químico—. Desde luego, las primeras estructuras realmente interesantes, es decir, las primeras estructuras autorreproductoras (virus de las plantas y bacteriófagos), están aún tres potencias de diez por encima de la proteína.» [\[806\]](#)

Ampliando las capacidades de la máquina universal de Turing, Von Neumann mostraba «que existe un autómata B que tiene esta propiedad: si se proporciona a B una descripción de algo, este consume dicha descripción y produce dos copias de ella». Von Neumann esbozó esta teoría en una charla que dio en Pasadena, California, el 20 de septiembre de 1948, más de cuatro años antes de que Franklin, Watson y Crick revelaran los detalles de cómo acontece eso mismo en la naturaleza. «Para la “autorreproducción” de autómatas, el procedimiento de Turing es demasiado restringido en un solo aspecto —explicó—. Sus autómatas son puramente máquinas computadoras. Su dispositivo de salida es un trozo de cinta con ceros y unos en ella. Lo que se necesita... es un autómata cuyo dispositivo de salida sean otros autómatas.» [\[807\]](#)

Utilizando el mismo método de sustitución lógica por el que se puede instruir a una máquina de Turing para que interprete de manera sucesiva lenguajes de nivel superior —o por el que Gódel pudo codificar enunciados metamatemáticos dentro de la aritmética corriente—, era posible diseñar máquinas de Turing cuyas instrucciones codificadas direccionaran componentes físicos, no posiciones de memoria, y cuya información de salida pudiera traducirse en objetos físicos, y no solo en ceros y unos. «Pequeñas variaciones del esquema precedente —proseguía Von Neumann— también nos permiten construir autómatas que puedan reproducirse y, además, construir otros.» Von Neumann comparaba el comportamiento de tales

autómatas con el que en biología caracteriza a la «función génica típica, autorreproducción más producción —o estimulación de producción— de ciertas enzimas específicas». [\[808\]](#)

Contemplando el problema de la autorreplicación y la autorreproducción a través de la lente de los sistemas formales lógicos y autorreferentes, Von Neumann aplicaba los resultados de Gödel y Turing a los fundamentos de la biología, aunque sus conclusiones apenas tendrían efecto en los biólogos entonces en activo, del mismo modo que sus *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica* apenas lo tuvieron en el trabajo cotidiano de los físicos de la época. Adaptando la prueba de Turing de la insolubilidad del *Entscheidungs-problem* al dominio de los autómatas autorreproductores, en diciembre de 1949 concluía que, «en otras palabras, se puede construir un órgano capaz de hacer cualquier cosa que se pueda hacer, pero no se puede construir un órgano que te diga si se puede hacer o no. [\[809\]](#)

»Esto se halla vinculado a la teoría de los tipos y a los resultados de Gödel —proseguía—. La cuestión de si algo es factible en un tipo pertenece a un tipo lógico superior. Es característico de los objetos de baja complejidad que resulta más fácil hablar del objeto que producirlo y más fácil predecir sus propiedades que construirlo. Pero en las partes complejas de la lógica formal resulta siempre un orden de magnitud más difícil decir lo que un objeto puede hacer que producir el objeto». [\[810\]](#)

¿Pueden los autómatas producir descendencia igual de compleja, o más compleja, que ellos mismos? «La «complejidad» en sus niveles inferiores probablemente es degenerativa, es decir, que cada autómata que pueda producir otros autómatas solo será capaz de producirlos menos complicados», explicaba Von Neumann. Hay, no obstante, cierto nivel de complejidad más allá del cual «el fenómeno de síntesis, si se organiza correctamente, puede resultar explosivo; en otras palabras, donde las síntesis de autómatas pueden proceder de tal modo que cada autómata

produzca otros autómatas que sean más complejos y con potencialidades superiores a sí mismo». [\[811\]](#)

Esta conjetura pone el dedo en la llaga con respecto a la probabilidad o improbabilidad del origen de la vida. Si es verdadera, entonces la existencia de un sistema autorreproductor lo suficientemente complejo puede conducir a sistemas aún más complejos y, con una probabilidad razonable, a la vida o algo similar a ella. La autorreproducción es un accidente que solo tiene que ocurrir una vez. «De algún modo, las operaciones de probabilidad dejan un resquicio en ese punto —señalaba Von Neumann—, y este se crea por medio del proceso de autorreproducción.» [\[812\]](#)

Von Neumann había intentado volver a la cuestión de la autorreproducción después de dejar la AEC. «Hacia el final de su vida se sentía lo bastante seguro de sí mismo como para emprender libremente, aunque también minuciosamente, la creación de una posible nueva disciplina matemática —explicó Ulam—, una teoría combinatoria de los autómatas y organismos.» La teoría tendría que ser lo bastante sencilla como para resultar matemáticamente comprensible, pero también lo bastante compleja como para poder aplicarse a ejemplos no triviales del mundo real. «No quiero verme seriamente molestado por la objeción de que *a)* todo el mundo sabe que los autómatas pueden reproducirse [*y*] *b)* todo el mundo sabe que no pueden», anunció Von Neumann. [\[813\]](#)

El plan había consistido en redactar, con Ulam como coautor, un exhaustivo tratado comparable a *Teoría de juegos y comportamiento económico*, desarrollando una teoría de los autómatas autorreproductores con aplicaciones tanto en biología como en tecnología, y en la combinación de ambas disciplinas. El trabajo jamás llegaría a ser completado. Ulam no era un coautor tan disciplinado como Oskar Morgenstern, y después de la guerra la agenda de Von Neumann se volvió aún más apretada. A la larga, el manuscrito incompleto, incluida una larguísima introducción basada en la serie de cinco conferencias que diera Von Neumann en la Universidad de

Illinois en 1949, sería compilado y cuidadosamente editado por Arthur Burks, y publicado con el título de *Theory of Self-Reproducing Automata* («Teoría de los autómatas autorreproductores») casi diez años después de la muerte de Von Neumann. Algunos epígrafes de un borrador que se ha conservado de los tres primeros capítulos, que Von Neumann le envió a Ulam, dan una idea de su pensamiento en aquella época:

- 1) ¡Wiener!
- 3) ¡Turing!
- 5) ¡No Turing!
- 6) Algebra booleana
- 7) ¡Pitts-McCulloch!
- 13) ¡Ulam!
- 14) La exigencia de resultados más firmes
- 16) Clases de cristal en 2 y 3 dim[ensiones].
- 18) J. B., H. H. G.!
- 20) ¡Turing!
- 23) Truco de doble línea, etc.
- 24) Degeneración (?)
- 25) ¡Tunng! [\[814\]](#)

Nuestra comprensión de la autorreproducción en biología, y nuestro desarrollo de la tecnología autorreproductora, procederían casi exactamente como prescribía la teoría propuesta. «¡Wiener!» probablemente se refiere a las teorías de Wiener sobre información y comunicación —ampliadas por Claude Shannon—, dado que el problema de la autorreproducción es fundamentalmente uno de comunicación, por un canal ruidoso, de una generación a la siguiente. «¡Turing!» remite a los poderes de la máquina universal de Turing, mientras que «¡No Turing!» alude a las limitaciones de dichos poderes y a cómo estos podrían verse trascendidos por cosas vivas y no vivas. «¡Pitts-McCulloch!» se refiere a los resultados de 1943 de Walter Pitts y Warren McCulloch sobre las capacidades —incluida la universalidad de

Turing— de lo que hoy denominamos «redes neuronales». «J. B., H. H. G.!» alude a Julian Bigelow y Herman H. Goldstine, quienes raras veces estaban de acuerdo en algo, de modo que es posible que se trate de una referencia a las primeras discusiones sobre las capacidades de las matrices de células comunicantes, antes de que interviniera la discrepancia acerca de cómo llevar eso a la práctica. «Truco de doble línea, etc.» evoca la replicación de doble hélice del ADN, mientras que «Degeneración (?)» probablemente se refiera al modo en que cualquier sistema duradero de autorreproducción debe depender de códigos de corrección de errores en la traducción de una generación a la siguiente. «¡Ulam!» probablemente se refiera al interés de Ulam en las capacidades de los autómatas celulares Turing-completos, hoy evidenciadas por muchos de los procesos computacionales que nos rodean. La triple aparición de «¡Turing!» refleja la importancia de la prueba de universalidad de Turing para cualquier teoría de la autorreproducción, ya se aplicara a las matemáticas, la biología o las máquinas. Finalmente, *Teoría de los autómatas autorreproductores*, reconstruida a partir de apuntes fragmentarios por Arthur Burks, reflejaría tan solo una parte de todo esto.

El ordenador del Instituto de Estudios Avanzados sería reproducido, con variaciones, en una primera generación de hermanos directos entre los que se incluían el SEAC de Washington, el ILLIAC de la Universidad de Illinois, el OPvDVAC del Campo de Pruebas de Aberdeen, el JOHNNIAC de la Corporación RAND, el MANIAC del Laboratorio Nacional de Los Álamos, el AVIDAC del Laboratorio Nacional de Argonne (Chicago), el ORACLE del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee), el BESK de Estocolmo, el DASK de Copenhague, el SILLIAC de Sidney, el BESM de Moscú, el PERM de Munich, el WEIZAC de Rehovot (Israel) y el IBM 701. «Hay toda una serie de descendientes de la máquina de Princeton, de los que no todos se parecen mucho a su progenitora —informaba Willis Ware en marzo de 1953—. Más o menos desde 1949 venía a vernos con bastante regularidad personal de ingeniería, que se llevaba diseños y dibujos para duplicar máquinas.» [\[815\]](#)

Von Neumann, por su parte, visitó también los otros laboratorios, con los que intercambié ideas generosamente. Durante el verano de 1951, el físico Murray Gell-Mann estuvo trabajando en el Laboratorio de Sistemas de Control de la Universidad de Illinois, situado inmediatamente encima del ILLIAC. «Este se utilizaba en labores secretas del gobierno —explicó David Wheeler—, y algunos circuitos se averiaron.» A Gell-Mann y Keith Brueckner, sus patrocinadores de la fuerza aérea les habían asignado la tarea de «imaginar que contábamos con piezas de ordenador muy muy malas, y teníamos que construir un ordenador muy fiable con ellas». Después de mucho trabajo fueron capaces de demostrar que, aun con componentes lógicos que tenían «una probabilidad del 51 por ciento de estar bien y una probabilidad del 49 por ciento de estar mal», podían diseñar circuitos de tal manera «que la señal fuera gradualmente mejorada». Intentaban mostrar una mejora exponencial, y de hecho se estaban acercando a ello. «El proyecto contrató a varios consultores, entre ellos a Johnny von Neumann durante un día —añadió Gell-Mann—. A él le gustaba reflexionar sobre los problemas mientras conducía por el país. De modo que se dirigía a Los Álamos para trabajar en las ideas sobre armas termonucleares, y de camino se detuvo en Urbana durante un día e hizo de consultor para nosotros. Dios sabe lo que debieron de pagarle.» [\[816\]](#)

A finales de 1951, Von Neumann puso por escrito esas ideas en un breve manuscrito titulado «Reliable Organizations of Unreliable Elements» («Organizaciones fiables de elementos no fiables»), y en enero de 1952 dio una serie de cinco conferencias en el Instituto de Tecnología de California, publicadas más tarde como *Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components* («Lógicas probabilísticas y síntesis de organismos fiables a partir de componentes no fiables»), donde empezaba a formular una teoría de la fiabilidad en su característico modo axiomático. «El error se ve, pues, no como un accidente extraño que es inducido por una instrucción errónea o que la genera, sino como una parte

esencial del proceso», anunciaba. Agradecía a Keith A. Brueckner y Murray Gell-Mann «algunos estímulos importantes sobre este tema», aunque sin dar más detalles. «En aquel momento no me contrarió en absoluto —dijo Gell-Mann—. Pensé: “¡Dios mío!, este gran hombre está refiriéndose a mí en la nota a pie de página. ¡Estoy en la nota a pie de página!”. Me sentí muy halagado, y supongo que Keith también.» [\[817\]](#)

Antes de que terminara la década se construyeron copias de segunda y tercera generación de la máquina del IAS. En este universo digital en expansión proliferaron los códigos, que se irían volviendo cada vez más potentes generación tras generación. Ordenadores más grandes, con memorias más grandes, engendraban códigos más grandes y más complejos, que a su vez engendraban ordenadores más grandes. Los chasis soldados a mano darían paso a circuitos impresos, circuitos integrados y, a la larga, microprocesadores con miles de millones de transistores impresos en silicio sin que los hubiera tocado una mano humana. Los 5 kilobytes de memoria electrostática de acceso aleatorio que albergaba el originario universo digital de Von Neumann, con un coste de alrededor de 100.000 dólares en 1947, hoy cuestan menos de una centésima de centavo y funcionan mil veces más deprisa.

En 1945, *Review of Economic Studies* había publicado el artículo «Model of General Economic Equilibrium» («Modelo de equilibrio económico general») de Von Neumann, un trabajo de nueve páginas leído en un seminario de matemáticas de Princeton en 1932 y publicado inicialmente (en alemán) en 1937. En él, Von Neumann dilucidaba el comportamiento de una economía donde «se producen bienes no solo a partir de “factores de producción naturales”, sino... unos a partir de otros». En esta economía autocatalítica, equilibrio y expansión coexisten en el punto de ensilladura entre conjuntos convexos. «La conexión con la topología puede resultar muy sorprendente al principio —señalaba Von Neumann—, pero el autor la considera natural en este tipo de problemas.» [\[818\]](#)

Algunos de los supuestos del «modelo económico en expansión» de Von Neumann —que «los factores naturales de producción, incluido el trabajo, pueden expandirse en cantidades ilimitadas» y que «todo insumo que exceda las necesidades de la vida será reinvertido»— parecían entonces poco realistas, pero no lo parecen tanto hoy en día, cuando la tecnología autorreproductora impulsa gran parte del mundo. Medimos nuestra economía en dinero, no en cosas, y todavía tenemos que desarrollar modelos económicos que den suficiente cuenta —y protejan contra los abusos— de los códigos autorreplicantes y las máquinas autorreproductoras.

Tras la marcha de Von Neumann de la AEC, el grupo de computación del I AS empezó a trabajar en «el problema de sintetizar circuitos conmutadores combinatorios (“casi mínimos”)» en general, y en el problema «de diseñar un computador digital» como caso especial de un circuito capaz de optimizarse a sí mismo. «Esta síntesis puede ser ejecutada por un computador digital, en particular por el computador que se va a diseñar si es lo suficientemente grande», informaban en abril de 1956, concluyendo que «parece que de ese modo hemos exhibido una máquina que puede reproducirse (esto es, diseñarse) a sí misma. Este resultado parece estar relacionado con las máquinas autorreproductoras de Von Neumann». [\[819\]](#) Estaban en lo cierto.

Los códigos que poblaban el creciente universo digital pronto se volverían Turing-completos, en gran medida como habían imaginado Ulam y Von Neumann en 1952. La ACE (Máquina de Computación Automática) de Turing, una potente máquina universal, debía de haber tenido una memoria de 25 kilobytes, o $2 \times 10^{[5]}$ bits. La actual escala del universo digital se estima en $10^{[22]}$ bits. Se ignora el número de máquinas de Turing que pueblan este universo, y, cada vez más, estas son máquinas virtuales que no están necesariamente asociadas a ningún *hardware* físico concreto en ningún momento concreto. Existen como entidades precisamente definidas en el universo digital, pero no tienen una existencia fija en el nuestro. Y están proliferando tan deprisa que las máquinas reales se las ven y se las desean

para estar a la altura de la demanda. Las máquinas físicas engendran máquinas virtuales, que a su vez engendran demanda de más máquinas físicas. Hoy la evolución en el universo digital impulsa la evolución en nuestro universo, en lugar de ocurrir al revés.

Teoría de los autómatas autorreproductores iba a presentar una gran teoría unificadora, una de las razones de que Von Neumann la dejara para el final. La nueva teoría se aplicaría a los sistemas biológicos, a los sistemas tecnológicos y a cualquier combinación concebible e inconcebible de ambos. Se aplicaría a los autómatas tanto si se encarnaban en el mundo físico, en el universo digital o en ambos, y pretendía tener una aplicación mucho más general que la de limitarse a la vida y la tecnología existentes en la Tierra.

Von Neumann raras veces hablaba de la vida o la inteligencia extraterrestres, probablemente por las mismas razones por las que tenía poco que decir sobre la inteligencia artificial: porque la vida y la inteligencia existentes ya resultaban lo bastante desconcertantes. Nils Barricelli, en cambio, se mostraba menos comedido. «Las condiciones para el desarrollo de organismos con muchas de las propiedades consideradas características de los seres vivos, por medio de procesos evolutivos, no tienen por qué ser similares a las que han prevalecido en la Tierra —concluía, basándose en sus experimentos de evolución numérica en el IAS—. Hay todo tipo de razones para creer que cualquier planeta en el que una gran variedad de moléculas puedan reproducirse por medio de reacciones autocatalíticas interconectadas (o simbióticas) puede presenciar la formación de organismos con las mismas propiedades.» [18201](#) Una de tales propiedades podría ser el desarrollo de la máquina universal.

Es probable que los bits —las unidades fundamentales de información y computación— abarquen todo el universo conocido. Al adoptar la representación digital, las estructuras se pueden traducir en secuencias y viceversa. En distancias largas resulta caro transportar estructuras y barato transmitir secuencias. De ahí que incluso aquí, en la Tierra, las

telecomunicaciones digitales hayan superado a todo lo demás. Ya hay máquinas de Turing, que por definición son estructuras que se pueden codificar como secuencias, propagándose localmente a la velocidad de la luz. La idea de que un ordenador concreto reside en un objeto físico concreto, en un emplazamiento y un momento concretos, está obsoleta.

Si resulta que, por alguna casualidad, la vida se ha originado, y ha sobrevivido, en otras partes del universo, sin duda habrá tenido tiempo de explorar una insondable diversidad de formas. Las más capaces de sobrevivir al paso del tiempo, de adaptarse a los cambios medioambientales y de emigrar a través de distancias interestelares serán las más extendidas. Una forma de vida que asuma una representación digital, en todo o en una parte de su ciclo vital, será no solo capaz de transmitir mensajes a la velocidad de la luz, sino también de transmitirse a sí misma. Como observaba en 1970 el pionero de la inteligencia artificial Marvin Minsky en un viaje a la Armenia soviética, «en lugar de enviar una imagen de un gato, hay un área donde lo que se envía es el propio gato». [\[821\]](#)

Von Neumann amplió el concepto de la máquina universal de Turing al de un «constructor universal»: una máquina capaz de ejecutar la descripción de cualquier otra máquina, incluida una descripción de sí misma. A su vez, se puede ampliar el concepto de constructor universal al de una máquina que, codificando y transmitiendo su propia descripción como un archivo autoextraíble, sea capaz de reproducir copias de sí misma en otra parte. Los organismos digitalmente codificados podrían propagarse económicamente incluso con una probabilidad extremadamente baja de encontrar un medio ambiente anfitrión en el que germinar y crecer. Si el núcleo codificado es interceptado por un anfitrión que ha descubierto la computación digital —cuya capacidad de traducción entre secuencia y estructura está tan cerca de ser un común denominador universal como pueden llegar a serlo la vida y la inteligencia corriendo en diferentes plataformas—, dicho núcleo tendrá una oportunidad. Si nosotros descubriéramos un núcleo así, de inmediato lo

replicaríamos de manera generalizada. Los laboratorios de todo el planeta empezarían a intentar decodificarlo, y a la larga llegarían a compilar la secuencia codificada —intencionada o involuntariamente— para utilizar nuestros recursos locales, del mismo modo en que una célula anfitriona asigna privilegios a un virus. Los privilegios de lectoescritura otorgados a los códigos digitales incluyen ya la tecnología material, las mentes humanas y, cada vez más, la síntesis de nucleótidos y todos los consiguientes detalles de la propia biología.

El planeta anfitrión no solo tendría que construir radiotelescopios y estar activamente a la escucha de secuencias codificadas, sino también otorgar recursos computacionales a las señales cuando estas llegaran (si lo hicieran). Hoy, la apropiadamente denominada red SETI@home [\[XXVII\]](#) conecta unos cinco millones de ordenadores terrestres a un creciente grupo de radiotelescopios, proporcionando un conjunto de 500 teraflops de transformadas rápidas de Fourier, que representan un total acumulativo de dos millones de años de tiempo de procesamiento. Hasta ahora, por lo que sabemos, no se ha captado ni una palabra (o siquiera una imagen).

Hace sesenta y tantos años, los organismos bioquímicos empezaron a montar ordenadores digitales. Hoy los ordenadores digitales empiezan a montar organismos bioquímicos. Visto con cierta perspectiva, esto parece formar parte de un ciclo vital. Pero ¿qué parte? ¿Son los organismos bioquímicos la fase embrionaria de los ordenadores digitales? ¿O son los ordenadores digitales la fase embrionaria de los organismos bioquímicos?

Según Edward Teller, cierto día de 1950, en Los Alamos, Enrico Fermi formuló la pregunta «Pero ¿dónde están todos?» cuando surgió el tema de los seres extraterrestres durante el almuerzo. Cincuenta años después, y también durante un almuerzo, esta vez en la Institución Hoover de la Universidad de Stanford, le pregunté a Edward Teller, que entonces tenía noventa y un años, si la pregunta de Fermi seguía vigente. John von Neumann, Theodore von Kármán, Leo Szilárd y Eugene Wigner, todos ellos

compañeros de infancia de Teller en Budapest, habían muerto ya. De los cinco «marcianos» [\[XXVIII\]](#) húngaros que trajeron al mundo las armas nucleares, los ordenadores digitales, gran parte de la industria aeroespacial y los comienzos de la ingeniería genética, solo Edward Teller, que llevaba consigo una vara de madera como un profeta del Antiguo Testamento, seguía vivo.

Su cojera, consecuencia de haber perdido la mayor parte de un pie al ser atropellado por un tranvía en Munich en 1928, se había vuelto más pronunciada con la edad, del mismo modo que los recuerdos de su juventud húngara se habían vuelto más vividos al tiempo que sus recuerdos posteriores empezaban a desvanecerse. «Recuerdo los puentes, los hermosos puentes», dijo, hablando de Budapest. [\[822\]](#) Por más que Teller fuera (junto con Von Neumann y el pionero alemán de los cohetes Wernher von Braun) uno de los modelos que, en conjunto, inspiraron el personaje del doctor Strangelove en la película de Stanley Kubrick *¿Teléfono rojo? Volamos hacia Moscú* —una obra maestra sobre la guerra fría—, para mí, en manos de Teller las armas nucleares resultan menos aterradoras que en las de la nueva generación de expertos en el desarrollo de armamento nuclear, que nunca han presenciado una prueba atmosférica en directo.

Teller supuso que yo había ido a preguntarle sobre la invención de Teller-Ulam, y me ofreció una larguísima descripción de la génesis de la bomba de hidrógeno, así como de la implosión-explisión de fisión requerida para inflamar el combustible termonuclear. «Toda la idea de la implosión —es decir, que se pueden conseguir densidades considerablemente superiores a la normal— surgió a raíz de una visita de Von Neumann —me explicó—. Se lo propusimos juntos a Oppenheimer. Y él aceptó de inmediato.» [\[823\]](#) Una vez abandonado el tema de la bomba de hidrógeno, le mencioné que estaba interesado en conocer la situación de la paradoja de Fermi cincuenta años después.

—Déjeme preguntarle algo —me interrumpió Teller, con su fuerte acento húngaro—. ¿No está usted interesado en la inteligencia extraterrestre? Obviamente no. Si estuviera interesado, ¿qué buscaría?

—Se pueden buscar toda clase de cosas —contesté—. Pero creo que lo que no hay que buscar es alguna señal inteligible... En cualquier civilización que esté realizando una comunicación útil, toda teoría de los autómatas autorreproductores transmisión de información eficiente estará codificada, de modo que no resultará inteligible para nosotros; parecerá ruido.

—¿Y dónde buscaría usted eso? —me preguntó Teller.

—No lo sé...

—¡Yo sí!

—¿Dónde?

—¡En los cúmulos globulares! —me respondió—. No podemos ponernos en contacto con nadie más, porque han decidido estar muy lejos de nosotros. En los cúmulos globulares resulta mucho más fácil que se reúna gente de diferentes lugares. Y en caso de que haya algún tipo de comunicación interestelar, tiene que estar en los cúmulos globulares.

—Parece razonable —convine—. Mi propia teoría personal es que la vida extraterrestre podría estar aquí ya... ¿y por qué tendríamos forzosamente que saberlo? Si hay vida en el universo, la forma de vida que resulte tener más éxito a la hora de propagarse será la vida digital; esta adoptará una forma que será independiente de la química local, y emigrará de un lugar a otro como una señal electromagnética mientras haya un mundo digital —una civilización que haya descubierto la máquina universal de Turing— que colonizar cuando llegue. Y fue por eso por lo que ustedes, Von Neumann y los demás marcianos, nos hicieron construir todos estos ordenadores: a fin de crear un hogar para esa clase de vida.

Hubo un silencio largo, interminable.

—Mire —me dijo finalmente Teller, bajando la voz hasta convertirla en un ronco susurro—, ¿puedo sugerirle que, en lugar de explicar eso, que resultaría... difícil, escriba un libro de ciencia ficción sobre ello?

—Probablemente alguien lo haya hecho —dije.

—O probablemente no —me respondió Teller.

* * * *

Capítulo 16

Mach 9

No hay tiempo allí. La secuencia es diferente del tiempo.

JULIAN BIGELOW, 1999

«En todos los años de la posguerra, cada vez que visitabas una de las instalaciones dotadas de un moderno ordenador central, siempre encontrabas a alguien ejecutando un problema de ondas de choque — recordaba el astrofísico germano-americano Martin Schwarzschild, quien, siendo todavía ciudadano de un país enemigo, se alistó en el ejército estadounidense al estallar la Segunda Guerra Mundial—. Si les preguntabas cómo habían pasado a trabajar en eso, siempre había sido Von Neumann quien les había involucrado. De modo que se convirtieron en la huella de Von Neumann, que de ese modo recorrería el paisaje de los ordenadores modernos.» [\[824\]](#)

Schwarzschild fue asignado al Campo de Pruebas de Aberdeen, donde estudió los efectos de las nuevas bombas «de demolición», alimentadas con explosivos convencionales, pero de un tamaño tal que la mayor parte de los daños los causaba la onda de choque en lugar de la destrucción de la bomba en sí. Fue este problema, que anticipaba los efectos de las armas nucleares, el que atrajo inicialmente a Von Neumann a Aberdeen. Antes de que llegara Von Neumann, «teníamos unas luchas increíbles —explicó Schwarzschild—. Incluso después de días de discutir y de pensar, ninguno de nosotros podía en verdad determinar cómo debía decirles exactamente a los ingenieros lo que quería». La solución de Von Neumann fue hacer que los ingenieros construyeran una máquina que pudiera seguir un número limitado de instrucciones sencillas, y luego dejar que los matemáticos y los físicos ensamblaran los programas que necesitaran a partir de dichas instrucciones,

sin tener que recurrir de nuevo a los ingenieros. «De inmediato veías cómo poner por escrito secuencias de enunciados para resolver cualquier problema concreto», dijo Schwarzschild, haciendo hincapié en «lo tontos que éramos a comienzos de 1943, y cómo en 1944 todo parecía tremendamente fácil y sencillo». [\[825\]](#) Fue Von Neumann quien trasladó ese planteamiento a Aberdeen, independientemente de dónde se hubiera originado.

Ocho años después, las bombas de demolición de gran potencia de 1943 se habían convertido en armas termonucleares, y el ENIAC y el Colossus se habían convertido en máquinas plenamente universales, aunque las ideas todavía se intercambiaban en persona, a la velocidad de un DC-3 con motor de hélice. Mientras el ordenador del IAS era sometido a sus primeras pruebas en enero de 1952, Von Neumann volaba de California a Cocoa, Florida (cerca de cabo Cañaveral, más tarde rebautizado como cabo Kennedy), para asistir a una reunión de oficiales de la fuerza aérea y unos sesenta asesores científicos propiciada por la plana mayor del Mando de Investigación y Desarrollo Aéreo, para el que había aceptado ayudar a crear un grupo consultivo matemático.

Acababa de publicarse el informe de alto secreto del denominado Proyecto Vista en torno al papel de las armas nucleares en la defensa de Europa. El informe argumentaba, en sintonía con el punto de vista de Oppenheimer y contra las opiniones de sus patrocinadores de la fuerza aérea, que las armas nucleares tácticas orientadas al campo de batalla militar, antes que las armas nucleares estratégicas orientadas a las poblaciones civiles, podían constituir la mejor opción tanto moral como militarmente. Fue la influencia de Oppenheimer en el informe Vista, tanto como sus dudas públicas respecto a las armas termonucleares, lo que condujo a que se le retiraran sus acreditaciones de seguridad.

Von Neumann viajó primero de San Francisco a Tulsa, Oklahoma, en un DC-4, un viaje que «implicó solo dos escalas y dos cambios de avión, en El Paso y Dallas». El vuelo de Tulsa a Cocoa requirió una primera etapa, «con escalas

en Muskogee, Fort Worth, Texarkana y Shreveport, y un cambio en Nueva Orleans», a bordo de un DC-3. Luego vino una segunda, «con escalas en Mobile, Pensacola y la ciudad de Panamá, y un cambio en Tampa», a bordo de un Lockheed Lodestar. Por último hubo una última etapa hasta Orlando, también en Lodestar, y finalmente un viaje en un automóvil de la fuerza aérea hasta el «espacioso pero desvencijado» hotel Indian River. [\[826\]](#) Luego pudo regresar a Washington a bordo de un avión militar y, finalmente, llegar en tren a Princeton. En Washington se encontró con que los comisarios de la AEC «querían celebrar una discusión sobre algunas cuestiones de las ondas de choque», mientras que, de regreso en el Instituto, encontró al ordenador «razonablemente bien» a pesar de su cuota diaria de «transeúntes y fallos». [\[827\]](#)

Las reacciones termonucleares producidas en una bomba terminan en milmillonésimas de segundo, mientras que las reacciones termonucleares producidas en una estrella se prolongan a lo largo de miles de millones de años. Ambas escalas de tiempo, más allá de la comprensión humana, caían dentro del alcance del MANIAC. Una vez terminada la guerra, Martin Schwarzschild había empezado a utilizar calculadoras de escritorio y tabuladoras de tarjetas perforadas para tratar de resolver el problema de la evolución estelar, combinando las teorías de Bethe de 1938 con las técnicas desarrolladas en Los Álamos para calcular la opacidad a la radiación y las ecuaciones de estado. «Obtener una solución para una estrella concreta para un momento concreto en la vida de la estrella llevaba dos o tres meses», explicaba Schwarzschild, a pesar de la ayuda del nuevo Laboratorio de Computación Científica Watson, construido por IBM en la Universidad de Columbia. «La cantidad de computación numérica necesaria es extraordinariamente grande —informaba a Subrahmanyan Chandrasekhar a principios de diciembre de 1946—. Acabo de terminar las soluciones para el núcleo de convección. Sin embargo, las integraciones de las 17 soluciones concretas necesarias para la envoltura de radiación apenas acaban de ser

iniciadas por el laboratorio IBM en los nuevos multiplicadores de relés... Me temo que el trabajo numérico todavía estará lejos de terminarse en Navidad.»

En 1950, como alternativa, Von Neumann y Goldstine invitaron a Schwarzschild a utilizar el MANIAC. La evolución estelar atraía a Von Neumann porque «sus objetos de estudio se pueden observar, pero no se puede experimentar con ellos», y porque los resultados podían compararse con las características observadas de tipos conocidos de estrellas en diferentes fases de sus vidas. «De repente tenías la posibilidad de computar secuencias de evolución para estrellas concretas, de comparar diferentes estrellas y diferentes fases de la evolución con estrellas ya observadas», explicaba Schwarzschild. Esto proporcionaría una comprobación inmediata de si los modelos numéricos se mantenían vigentes en el MANIAC o no. Allí donde los meteorólogos tienen que aceptar que cada sistema meteorológico es distinto y que las observaciones solo pueden realizarse una vez, los astrónomos pueden contemplar el cielo nocturno y observar las diferentes familias de estrellas en cada fase de su existencia en cualquier momento dado. «Una rica variedad (que se podría calificar de "zoo") de las estrellas observadas encajaba en pautas —explicó Schwarzschild—, y así pudimos empezar a saber las edades de las estrellas.» [\[828\]](#) Von Neumann proporcionó tiempo para utilizar la máquina, junto con la ayuda de Hedvig (Hedi) Selberg, la programadora más capaz del Proyecto de Computador Electrónico, quien se convertiría en colaboradora de Schwarzschild en el trabajo sobre la evolución estelar. Selberg, nacida en Targu Mures, Transilvania, en 1919, era la hija de un fabricante de muebles que quebró durante la Depresión, lo que la obligó a colaborar en el sustento de la familia dando clases particulares de matemáticas al tiempo que asistía a la Universidad de Kolozsvár (la actual ciudad rumana de Cluj-Napoca), donde terminó la carrera con un grado equivalente al de máster y con el número uno de su promoción. Luego enseñó matemáticas y física en un instituto

judío de Satu Mare, hasta que toda su familia fue deportada a Auschwitz en junio de 1944. Ella fue el único miembro de la familia que sobrevivió, tras lo cual huyó a Escandinavia, se casó con el matemático noruego especializado en teoría de los números Atle Selberg, en agosto de 1947, y llegó a Princeton en septiembre del mismo año. Sus credenciales docentes no fueron reconocidas en Nueva Jersey, y estaba haciendo planes para obtener un doctorado en matemáticas en Columbia cuando en septiembre de 1950 Von Neumann le ofreció un puesto en el Proyecto de Computador Electrónico, con un sueldo de 300 dólares al mes. «Le gustó aquella nueva línea de trabajo, y se sentiría muy afortunada de haber formado parte de aquel apasionante acontecimiento de la historia —contó su hija, Ingrid—. Ello le permitió utilizar sus conocimientos de matemáticas y de física, además de su inteligencia y su atención al detalle.» [\[829\]](#)

Hedi Selberg seguiría trabajando con el MANIAC durante toda la vida de la máquina, desde los primeros cálculos sobre la bomba de hidrógeno hasta el último modelo de evolución estelar que se estaba ejecutando cuando la universidad la desenchufó. «Yo nunca supe nada de la investigación sobre la bomba de hidrógeno que se realizaba en el ECP por las noches», afirmó Ingrid, mientras que, según Freeman Dyson, «Hedi siempre decía que el ordenador trabajaba principalmente en bombas». Cuando los ingenieros o los «chicos de la AEC» dejaban preguntas en los diarios de funcionamiento de la máquina, las respuestas a menudo llevaban la firma «H. S.».

«Imposible cargar nada más que todo «unos». Hasta las tarjetas en blanco muestran todo «unos»», anotaba en el diario de la máquina el 11 de diciembre de 1953. «Aparte de eso, la máquina funciona bien —consignaba en la siguiente entrada—. El relé de detrás de la máquina (ese al que le ponemos cerillas) parece estar bien.» Selberg se encargaba de supervisar la máquina sin ayuda de nadie durante largos períodos de tiempo. «El aire acondicionado no está funcionando especialmente bien esta noche y se ha helado completamente —anotaba a las 00.09 de la noche del 19 al 20 de

noviembre de 1954—. Sin embargo, la temperatura está bajando gradualmente, y dejaré instrucciones a Barricelli de que lo apague si alcanza los 32 grados», añadía al terminar su turno aquella noche.

Schwarzschild y Selberg partieron de modelos simples de las primeras fases de la evolución estelar, cuando la estrella se halla en equilibrio hidrostático y térmico «y las temperaturas internas son las justas para que el hidrógeno en combustión produzca energía a un ritmo que compensa exactamente las pérdidas debidas a la radiación superficial». [\[830\]](#) A la larga, el hidrógeno del núcleo se transmuta en helio y la zona del hidrógeno en combustión se aleja más de este. El núcleo de helio aumenta de masa, pero se reduce de tamaño, mientras que la luminosidad y el radio de la estrella en su conjunto aumentan, produciendo una gigante roja que arde durante otros mil millones de años o así, antes de convertirse en una enana blanca.

A medida que una estrella envejece, su comportamiento se vuelve cada vez más complejo. La convección hace que las capas se mezclen, y la transmutación del helio produce una sucesión de elementos más pesados, cuya variación de opacidad produce los mismos efectos críticos que produjo la opacidad a la radiación en la viabilidad de la bomba de Teller-Ulam. «Todo el sistema, incluidas las diversas ecuaciones suplementarias para computar la opacidad, la generación de energía, etc., y la distinción entre los casos de radiación, convección y degeneración, es, sin duda, el sistema más complejo que nuestro computador ha tratado nunca», explicaban Schwarzschild y Selberg. [\[831\]](#) Aquellos modelos de simulación iban muy por delante de su tiempo. «Lamentablemente, solo mucho más tarde, cuando hacía tiempo que él [Schwarzschild] ya no estaba con nosotros, entendí lo intensos, profundos y penetrantes que eran sus primeros estudios, y de qué modo estos impregnaban sus comentarios y preguntas —afirmó el astrónomo John Bahcall, que veinte años después llevaría de nuevo el modelo de simulación numérico al IAS—. Pero él era la clase de persona que nunca decía: “Si repasas mi artículo de 1956 verás que ya había calculado la abundancia del

calentamiento primordial” o cosas así. Este no era su estilo. Nunca mencionaba su propio trabajo.» [\[832\]](#)

Los cálculos de Schwarzschild venían a constituir una meteorología cosmológica: el pronóstico infinito que terminaba con todos los pronósticos infinitos. «¿Vivimos entonces en una galaxia adulta que ya ha condensado la mitad de su masa permanentemente en estrellas y ha consumido una cuarta parte de todo su combustible? —se preguntaba en 1957—. ¿Llegamos demasiado tarde para presenciar el turbulento destello de la juventud galáctica, pero todavía estamos a tiempo de observar estrellas en todas sus fases evolutivas antes de que adopten el estado permanente de enanas blancas?» [\[833\]](#)

A mediados de 1953 se ejecutaban en el MANIAC cinco conjuntos distintos de problemas, caracterizados por regirse por diferentes escalas de tiempo: 1) explosiones nucleares, producidas en microsegundos; 2) ondas de choque y ondas expansivas, que varían de microsegundos a minutos; 3) meteorología, que abarca de minutos a años; 4) evolución biológica, que abarca de años a millones de años, y 5) evolución estelar, que abarca de millones a miles de millones de años. Y todo esto en 5 kilobytes, la memoria necesaria para reproducir alrededor de medio segundo de audio a la tasa de compresión que hoy utilizamos para la música en MP3.

Esas escalas de tiempo iban de aproximadamente 10^{-8} segundos (la vida de un neutrón en una explosión nuclear) a 10^{17} segundos (la vida del Sol). El punto intermedio de este abanico se sitúa entre los $10^{[4]}$ y $10^{[5]}$ segundos, o unas ocho horas, exactamente en medio del espectro (desde el parpadeo de un ojo, sobre las tres décimas de segundo, hasta una vida entera de tres mil millones de segundos, o noventa años) que un ser humano es capaz de comprender directamente.

De esos cinco conjuntos de problemas, las ondas de choque fueron el primer amor de Von Neumann y seguirían siendo el tema por el que sentiría mayor apego. Tenía cierta percepción intuitiva al respecto. El cálculo por sí solo no

siempre bastaba. «La cuestión de si una solución que uno haya encontrado por medio del razonamiento matemático realmente ocurre en la naturaleza... resulta bastante difícil y ambigua —explicaba en 1949, en relación con el comportamiento de las ondas de choque producidas por la colisión de nubes de gas en el espacio interestelar—. Tenemos que dejarnos guiar casi completamente por la intuición física en esta búsqueda... y es difícil decir con respecto a cualquier solución que se haya derivado, con cierto grado de certeza, que esa es la que debe existir.» [\[834\]](#)

Las ondas de choque se producen como resultado de colisiones entre dos objetos, o entre un objeto y un medio, o entre dos medios, o bien por una transición repentina dentro de un medio, cuando las velocidades o las escalas de tiempo se desajustan. Si la diferencia de velocidades es mayor que la velocidad de información local, se propaga una discontinuidad, de la que el ejemplo clásico es el estampido sónico que se produce cuando un avión supera la velocidad del sonido. La perturbación puede ser el frente de detonación de un explosivo de alta potencia, una bala saliendo del cañón de una pistola, un meteorito entrando en la atmósfera, la explosión de un arma nuclear o la colisión entre dos chorros de gas interestelar.

Incluso podrían producirse ondas de choque por la colisión entre dos universos, o por la explosión de un nuevo universo, y esa sería una forma de describir las discontinuidades que se producen cuando el universo digital choca con nuestro universo a un ritmo más rápido que aquel al que somos capaces de adaptarnos. «El progreso cada vez más acelerado de la tecnología y los cambios en el modo de vida humano —le explicaba Von Neumann a Stan Ulam— dan la sensación de estar aproximándose a alguna singularidad esencial en la historia de la humanidad.» [\[835\]](#)

En nuestro universo medimos el tiempo con relojes, y los ordenadores tienen una «velocidad de reloj»; pero los relojes que gobiernan el universo digital son muy distintos de los que gobiernan el nuestro. En el universo digital, los relojes existen para sincronizar la traducción entre los bits que están

almacenados en la memoria (como estructuras en el espacio) y los bits que se comunican mediante código (como secuencias en el tiempo). Son relojes en el sentido de la regulación del mecanismo de escape más que en el de la medición del tiempo.

«La máquina computadora del IAS es asíncrona; es decir, que las decisiones entre alternativas elementales, y la ejecución de esas decisiones, se inician no con referencia al tiempo como variable independiente, sino más bien según la secuencia —le explicaba en 1949 Bigelow a Maurice Wilkes, que acababa de conseguir poner en funcionamiento el ordenador EDSAC de Cambridge, con memoria de línea de retardo, antes que el del Instituto—. El tiempo, pues, no sirve como indicador de la posición de la información, sino que, en cambio, se utilizan lecturas de contador, donde los propios contadores son activados por los eventos elementales.» [\[836\]](#)

«Todo ello era un gran sistema de puertas binarias abiertas y cerradas —reiteraría Bigelow cincuenta años después—. Nada de relojes. No necesitabas relojes. Solo necesitabas contadores. Hay una diferencia entre un contador y un reloj. Un reloj controla el tiempo. Un moderno ordenador de uso general controla eventos.» [\[837\]](#) Esta distinción separa el universo digital de nuestro universo, y es una de las pocas distinciones que aún quedan.

La aceleración de kilociclos a megahercios y luego a gigahercios está avanzando todavía más deprisa de lo que parece indicar ese incremento de la velocidad de reloj nominal, en la medida en que dispositivos tales como los procesadores gráficos permiten la traducción directa entre secuencias codificadas y estructuras de memoria, sin tener que esperar a que un reloj central autorice dicha traducción paso a paso. No importa con qué frecuencia reajustemos nuestros propios relojes para adaptarlos a la creciente velocidad de los ordenadores; nunca lograremos seguirles el ritmo. Los códigos que aprovechan el procesamiento asíncrono en el universo digital tomarán la delantera en el nuestro.

Hace treinta años, las redes desarrolladas para la comunicación entre personas se adaptaron a la comunicación entre máquinas. En unos pocos años pasamos de transmitir datos en una red de voz a transmitir voz en una red de datos. Se sumergieron miles de millones de dólares en cables que atravesaban seis continentes y tres océanos, y una red de fibra óptica engulló el planeta. Cuando la operación alcanzó su punto álgido, en 1991, se tendía fibra óptica en todo el mundo a un ritmo de más de ocho mil kilómetros por hora; es decir, nueve veces la velocidad del sonido, o Mach 9. Dado que cuesta solo un poco más instalar todo un haz de fibras que un solo cable, la red desplegada alcanzó una capacidad a todas luces excesiva. Quince años después, una nueva generación de empresas, incluida Google, empezaron a comprar a bajo precio grandes cantidades de la denominada «fibra oscura», a la espera de que llegara un momento en el que el coste de conectar sus extremos fuera económicamente rentable. Con el precio de los conmutadores ópticos bajando a cada minuto que pasa, hoy esa fibra oscura se está «iluminando». El denominado problema del «último kilómetro» — cómo llegar a los dispositivos individuales sin incurrir en costes de conexión individuales— se ha disipado con la aparición de los dispositivos inalámbricos, y hoy estamos desenrollando cable de nuevo. En 2011 la producción global de fibra óptica alcanzó la velocidad de Mach 20 (24.000 kilómetros por hora).

Entre los ordenadores que pueblan esta red, la mayor parte de los ciclos de procesamiento se desperdician. La mayoría de los procesadores, durante la mayor parte del tiempo, están esperando instrucciones. Incluso dentro de un procesador activo, como explicaba Bigelow, la inmensa mayoría de las células están esperando a ver qué tienen que hacer a continuación. El ordenador global, pese a todos sus poderes, probablemente sea la máquina menos eficiente que los humanos han construido jamás; hay una delgada capa de instrucciones, y el resto es un 99,9 por ciento oscuro y vacío.

Para los organismos numéricos en competencia por los recursos informáticos, las oportunidades son imposibles de resistir. La transición a las máquinas virtuales (optimizando la asignación de ciclos de procesamiento) y la informática en la nube (optimizando la asignación de almacenamiento) marcan el comienzo de una transformación en un paisaje donde se está dando uso a unos recursos de otro modo desperdiciados. Los códigos se están volviendo multicelulares, mientras que las fronteras entre procesadores individuales y memorias individuales devienen cada vez más borrosas.

Cuando Julian Bigelow y Norbert Wiener formularon sus «máximas para los pronosticados ideales» en 1941, la última de tales máximas era que las predicciones (o la futura posición de un objetivo móvil) debían formularse normalizando las observaciones en función del marco de referencia de dicho objetivo, «subrayando su fundamental simetría e invariancia de comportamiento», que de otro modo se perderían en la traducción al marco de referencia del observador sobre el terreno. [\[838\]](#) De ahí que resulte tan difícil hacer predicciones, dentro del marco de referencia de nuestro universo, sobre el futuro del universo digital, donde el tiempo tal como lo conocemos no existe. Lo único que tenemos son funciones de intervalo que solo podemos proyectar hacia adelante en nuestro tiempo no digital.

Los códigos generados en 1951 han proliferado, pero su naturaleza no ha variado. Son asociaciones simbióticas de números autorreproductores (partiendo de un alfabeto primitivo de códigos de operación) a los que se otorgaron poderes limitados y elementales, del mismo modo que un alfabeto limitado de secuencias de nucleótidos codifica un conjunto elemental de aminoácidos y, a partir de ahí, se desarrollan los polinucleótidos, las proteínas y todos los demás derivados. Los códigos mediante los que una organización tan vasta y compleja como Google representa el estado de todo el universo digital, descienden de los primeros códigos de Montecarlo que

escribió Klári von Neumann mientras fumaba cigarrillos Lucky Strike desde la oficina de correos de Los Alamos.

Aproximadamente en la época en que el ordenador del IAS empezó a funcionar, en 1951, Stan Ulam le envió a John von Neumann una nota sin fecha en la que le preguntaba si un universo puramente digital podría captar algunos de los procesos evolutivos que vemos en nuestro universo. El imaginaba un universo computacional bidimensional ilimitado donde unos organismos digitales Turing-completos (que operarían en dos dimensiones, a diferencia de las unidimensionales secuencias genéticas híbridas de Barricelli) competirían por los recursos y evolucionarían. Ulam también sugería proyectar el modelo digital hacia atrás, en el sentido opuesto, a fin de considerar la cuestión, en sus propias palabras, de la «generación del tiempo y el espacio en el “prototiempo”». [\[839\]](#)

Los organismos que evolucionen en el universo digital van a ser muy distintos de nosotros. A nosotros nos parecerá que evolucionan cada vez más deprisa, pero a ellos les parecerá que nuestra evolución ha empezado a desacelerarse desde el momento de su creación, del mismo modo que nuestro universo parece haber empezado a enfriarse de repente después del *big bang*. Las conjeturas de Ulam eran correctas; nuestro tiempo se está convirtiendo en el prototiempo de otros.

«El juego al que parece estar jugando la naturaleza resulta difícil de formular —observaba Ulam en 1966, durante una conversación en la que participaba también Nils Barricelli—. Cuando compiten especies distintas uno sabe cómo definir la pérdida; cuando una especie desaparece por completo es evidente que pierde. Definirla victoria, en cambio, resulta mucho más difícil, porque coexisten muchas, y presumiblemente lo harán por un tiempo indefinido; y, sin embargo, los humanos se consideran en cierto sentido muy por encima del pollo, al que también se permitirá continuar indefinidamente.» [\[840\]](#)

El primer trabajo de Von Neumann escrito en solitario, «On the Introduction of Transfinite Numbers» («Sobre la introducción a los números transfinitos»),

fue publicado en 1923, cuando tenía diecinueve años. La pregunta de cómo distinguir coherentemente entre diferentes clases de infinito, que Von Neumann clarificó, pero no respondió, se halla estrechamente relacionada con la pregunta de Ulam: ¿qué clase de infinito queremos?

* * * *

Capítulo 17

La historia del Gran Ordenador

En un pequeño laboratorio —algunas personas sostienen que era un viejo establo reconvertido—, unos cuantos hombres con batas blancas observaban un pequeño aparato, aparentemente insignificante, equipado con luces que destellaban como estrellas. Se introducían tiras de papel gris perforado en su interior, y otras tiras salían de él. Los científicos e ingenieros se esforzaban en su trabajo, con un brillo en los ojos; sabían que el pequeño artefacto que tenían delante era algo excepcional, pero ¿acaso preveían la nueva era que se abría ante ellos o sospechaban que lo que había ocurrido era comparable al origen de la vida en la Tierra?

HANNES ALFVÉN, 1966

En 1946, Von Neumann hizo un trato con «la otra parte». Los científicos tendrían los ordenadores, y los militares tendrían las bombas. Eso parece haber dado bastante buen resultado, al menos hasta ahora, ya que, contrariamente a las expectativas de Von Neumann, serían los ordenadores los que harían explosión, y no las bombas.

«Es posible que en los años venideros los tamaños de las máquinas aumenten de nuevo, pero no es probable que se superen los 10.000 (o quizá unas pocas veces 10.000) órganos de conmutación mientras se empleen las técnicas y la filosofía actuales —predecía Von Neumann en 1948—. Alrededor de 10.000 órganos de conmutación parece ser el orden de magnitud apropiado para una máquina computadora.» [\[841\]](#) Acababa de inventarse el transistor, y habrían de pasar otros seis años antes de que se pudiera comprar una radio de transistores, con cuatro de ellos. En 2010 se podía comprar un ordenador con mil millones de transistores por el mismo precio, ajustado a la inflación, que costaba una radio de transistores en 1956.

La estimación de Von Neumann resultaría errónea por más de cinco órdenes de magnitud; hasta ahora. El creía —y aconsejaba al gobierno y a los estrategias de la industria que buscaban su asesoramiento— que un pequeño número de grandes ordenadores podrían satisfacer la demanda de computación de alta velocidad una vez que se solucionaran los impedimentos de cara a la entrada y salida remotas de datos. Eso resultaría cierto, pero solo durante un período muy corto de tiempo. Tras concentrarse brevemente en grandes instalaciones de computación centralizadas, la onda de detonación que se inició con tarjetas perforadas y tubos de vacío se propagó a través de una serie de fronteras materiales e institucionales, pasando a la memoria de núcleos magnéticos, los semiconductores, los circuitos integrados y los microprocesadores; y de los grandes ordenadores centrales y los sistemas de tiempo compartido a los miniordenadores, los microordenadores, los ordenadores personales, las ramificadas extensiones de internet y, hoy, los miles de millones de microprocesadores integrados en teléfonos móviles y otros dispositivos. A medida que los componentes aumentaban en número, fueron volviéndose más pequeños en tamaño y operando más deprisa en el tiempo. El mundo se transformó.

Entre quienes supieron prever esa transformación se contaba el astrofísico sueco Hannes Alfvén, quien se mantendría tan firme en su oposición a las

armas nucleares como Von Neumann y Teller serían partidarios de ellas. Fue miembro cofundador, y más tarde presidente, del movimiento de desarme Pugwash fundado por Joseph Rotblat, el único físico de Los Alamos que dejó su trabajo, a finales de 1944, en respuesta a la información secreta recabada por los servicios de inteligencia de que los alemanes no estaban haciendo un esfuerzo serio para construir una bomba atómica.

De niño, alguien le había dado a Alfvén un ejemplar de *Astronomía popular* de Camille Flammarion, en el que aprendió lo que se sabía y lo que no se sabía en aquella época sobre el sistema solar. Luego se incorporó al club de radio de onda corta de su escuela, donde empezó a entender qué parte del universo subyacía más allá de las longitudes de onda de la luz visible y cuánto de él estaba integrado no por sólidos, líquidos o gases convencionales, sino por plasma, un cuarto estado de la materia, donde los electrones están sueltos. En 1970 se le concedería el Premio Nobel de Física por su trabajo en magnetohidrodinámica, un campo en el que fue pionero a raíz de una carta a la revista *Nature* en 1942. El comportamiento de las ondas electromagnéticas en los conductores sólidos se entendía bastante bien, mientras que su comportamiento en el plasma ionizado seguía siendo un misterio, ya fuera en el interior de una estrella o en el espacio interestelar. En cualquier fluido conductor, incluido el plasma, la electrodinámica y la hidrodinámica iban a la par, y Alfvén dotó a esta relación de un sólido fundamento matemático y experimental. «Jugar con mercurio en presencia de un campo magnético de 10.000 gauss da la impresión general de que el campo magnético ha alterado completamente sus propiedades hidrodinámicas», explicó en 1949. [\[842\]](#)

El cosmos de Alfvén estaba inundado de ondas magnetohidrodinámicas —hoy llamadas «ondas de Alfvén»— que hacían del espacio «vacío» un lugar mucho menos vacío y ayudaban a explicar fenómenos que iban desde la aurora boreal hasta las manchas solares, pasando por los rayos cósmicos. Desarrolló una detallada teoría de la formación del sistema solar, empleando

la electrodinámica para explicar cómo se formaron los diferentes planetas. «Rastrear el origen del sistema solar es arqueología, no física», escribió en 1954. [\[843\]](#)

Alfvén también sostenía, sin convencer a los ortodoxos, que la estructura a gran escala del universo podía ser jerárquica hasta el infinito, en lugar de expandirse a partir de una única fuente. Semejante universo —que cumpliría el ideal de Leibniz del todo a partir de la nada— tendría una densidad media de cero, pero una masa infinita. Para Alfvén, el *big bang* era una ilusión. «Luchan contra el creacionismo popular, pero al mismo tiempo luchan fanáticamente en favor de su propio creacionismo», subrayó en 1984. [\[844\]](#)

Alfvén dividiría sus últimos años entre La Jolla, California, donde ejercía como profesor de física en la Universidad de California en San Diego, y el Real Instituto de Tecnología de Estocolmo, donde había sido nombrado miembro de la Escuela de Ingeniería Eléctrica en 1940, justo a tiempo para presenciar de primera mano la llegada de la era de la informática. La BESK sueca (siglas de Binar Elektronisk Sekvens Kalkylator, «Calculadora Secuencial Electrónica Binaria»), que era una copia de primera generación de la máquina del IAS, entró en funcionamiento en 1953. Tenía una memoria y una aritmética más rápidas, en parte gracias a la inteligente ingeniería sueca (que incluía el uso de 400 diodos de germanio) y, en parte, al hecho de reducir la memoria de cada tubo Williams a 512 bits.

«He visto la máquina sueca —informaba Von Neumann a Klári desde Estocolmo en septiembre de 1954—. Muy elegante, quizá una media de un 25 por ciento más rápida que la nuestra, con memoria Williams de solo 500 palabras y 4.000 en un tambor (esto se duplicará), una entrada de teletipo (rápida, un lector eléctrico) y solo una salida mecanográfica (lenta).» [\[845\]](#) La construcción de aquella máquina dejó una impresión indeleble en Alfvén, que a la larga la pondría por escrito en su obra *The Tale of the Big Computer: A Vision* («La historia del Gran Ordenador: una visión»), publicada en Suecia en 1966.

«Cuando una de mis hijas me dio mi primer nieto, me dijo: «Ya que escribes tantos artículos y libros científicos, ¿por qué no escribes algo más práctico, un cuento de hadas para este pequeño?»», recordaría Alfvén en 1981. Escogiendo a «un pariente monocigótico llamado Olof Johannesson» como seudónimo, Alfvén relató, desde un tiempo indefinido en el futuro, una breve historia natural del origen y el desarrollo de los ordenadores y su posterior dominio de la vida en la Tierra. «La vida, que evolucionó en estructuras cada vez más complejas, fue el sustituto de la naturaleza para los ordenadores criados directamente —escribía—. Sin embargo, fue algo más que un sustituto: fue un camino; un camino tortuoso, pero uno que, pese a todos los errores y peligros, llegó por fin a su destino.» [\[846\]](#)

«Yo era asesor científico del gobierno sueco y tenía acceso a sus planes para reestructurar la sociedad sueca, lo que obviamente podía hacerse de manera mucho más eficaz con la ayuda de ordenadores, del mismo modo que otros inventos anteriores nos habían aliviado del trabajo físico pesado», añadía, explicando cómo había llegado a escribir el libro. En la visión de Alfvén, los ordenadores eliminaban rápidamente dos de las mayores amenazas del mundo: las armas nucleares y los políticos. «Cuando se desarrollaron los ordenadores, estos asumieron una buena parte de la carga de los políticos, y tarde o temprano también acabarían por asumir su poder —explicaba—. Eso no tenía por qué hacerse por medio de un sucio golpe de Estado; simplemente fueron más listos de manera sistemática que los políticos. Incluso es posible que pasara mucho tiempo antes de que los políticos se dieran cuenta de que se habían vuelto impotentes. Eso no es una amenaza para nosotros.» [\[847\]](#)

«Los ordenadores están diseñados para resolver problemas, mientras que los políticos han heredado el síndrome de los caciques tribales de la Edad de Piedra, que dan por sentado que pueden gobernar a sus gentes solo haciéndoles odiar y combatir a todas las demás tribus —proseguía Alfvén—. Si tenemos la opción de ser gobernados, o bien por generadores de

problemas, o bien por solucionadores de problemas, obviamente cualquier hombre práctico preferiría a los últimos.» [\[848\]](#)

Los matemáticos que diseñaban y programaban la creciente red de ordenadores empezaron a sospechar que «el problema de organizar la sociedad es tan sumamente complejo que resulta insoluble para el cerebro humano, o incluso para muchos cerebros que trabajen en colaboración». Su posterior prueba del teorema de la complejidad sociológica llevó a la decisión de ceder la organización de la sociedad humana, y la gestión de sus redes sociales, a las máquinas. [\[849\]](#) Se proveyó a todos los individuos de un dispositivo llamado «teletotal», conectado a una red global de ordenadores con características similares a los actuales Google y Facebook. «El teletotal tendía un puente entre el mundo mental del ordenador, que operaba a través de secuencias de impulsos a velocidades de nanosegundos, y el mundo mental del cerebro humano, con sus impulsos nerviosos electroquímicos —explicaba Alfvén—. [\[850\]](#) Dado que el conocimiento universal estaba almacenado en las unidades de memoria de los ordenadores y, por lo tanto, resultaba fácilmente accesible a todos y cada uno, se salvó la brecha entre los que sabían y los que no sabían... y resultó del todo innecesario almacenar ningún saber en absoluto en el cerebro humano.» [\[851\]](#)

Al teletotal le siguió un sucesor miniaturizado e inalámbrico conocido como «minitotal», más tarde complementado por el «neuro-total», un implante que se mantenía «en contacto permanente vía VHF con el minitotal del sujeto» y se insertaba quirúrgicamente en un canal nervioso para conectarlo directamente al cerebro humano. Técnicos humanos mantenían la creciente red de ordenadores, mientras que estos, a cambio, velaban por la salud y el bienestar de sus simbioses humanos con tanto esmero como lo hace hoy el gobierno sueco. «Factorías de salud» mantenían a los seres humanos en buen estado; las ciudades se abandonaron en favor de una vida descentralizada y de tele trabajo, y «las tiendas se volvieron superfluas,

puesto que el cliente podía examinar los bienes que había en ellas desde casa... si quería adquirir algo... presionaba el botón de compra.» [\[852\]](#)

Entonces, un día, todo el sistema se paralizó. Un pequeño grupo de humanos habían conspirado para hacerse con el control de la red. «Se habían formado facciones (se ignora exactamente cuántas) y estas luchaban unas contra otras por el poder —explicaba Alfvén—. Un grupo intentó dejar fuera de combate a sus rivales desorganizando sus sistemas de datos, y estos le pagaron con la misma moneda. El resultado fue un desbarajuste total. No sabemos cuánto tiempo duró la batalla. Debíó de haberse preparado durante un largo período, pero es posible que el conflicto en sí durara menos de un segundo. Para los ordenadores, eso es una cantidad de tiempo considerable.» [\[853\]](#)

El colapso fue total. Con la red inactiva, no había ningún modo de distribuir las instrucciones para reactivarla. «Las interrupciones parecían haberse producido casi —o incluso exactamente— al mismo tiempo en todo el mundo, y era evidente que la red internacional de ordenadores estaba muerta —informaba Johannesson—. [\[854\]](#) Fue un completo desastre. En menos de un año la mayor parte de la población había perecido por el hambre y las privaciones... Los museos fueron saqueados en busca de [hachas] y otras herramientas.» [\[855\]](#)

La sociedad fue reconstruida poco a poco a partir de sus ruinas y el sistema de ordenadores, restaurado a partir de copias de seguridad conservadas por una avanzadilla marciana que había escapado al colapso. Esta vez se dio a los ordenadores el pleno control desde el principio, reconociendo que «había que excluir completamente al hombre de las tareas de organización más importantes». [\[856\]](#) En la nueva sociedad, el número de seres humanos se mantuvo en un nivel reducido. «Una gran cantidad de máquinas de datos habían sido destruidas en el momento del desastre, pero su número apenas había disminuido en comparación con la proporción de víctimas humanas... de modo que, cuando fueron puestos de nuevo en marcha, la proporción de

ordenadores con respecto a las personas se había incrementado enormemente.» [\[857\]](#) Una vez que los ordenadores estuvieron de nuevo en funcionamiento, y equipados con instalaciones para repararse y reproducirse a sí mismos, los seres humanos se fueron volviendo cada vez más superfluos. La historia termina con Olof Johannesson preguntándose qué cantidad de población humana se podrá preservar: «Es probable que cuando menos reduzcan su número; pero ¿se hará esto de manera rápida o gradual? ¿Conservarán una colonia humana?, y, de ser así, ¿de qué tamaño?». [\[858\]](#)

Hoy la historia de Alfvén ha caído en el olvido, pero el futuro que él imaginaba ha llegado ya. Los centros de datos y los parques de servidores proliferan en las zonas rurales; los teléfonos con Android y auriculares Bluetooth están solo a un paso de los implantes neurales; el desempleo es pandémico entre quienes no trabajan por cuenta de códigos autorreplicantes y máquinas autorreproductoras. Facebook define quiénes somos y Google qué pensamos. El teletotal fue el ordenador personal; el minitotal es el iPhone; el neurototal será lo próximo. «¿Cuánta vida humana podemos absorber?», pregunta uno de los fundadores de Facebook como respuesta a la pregunta previa de cuál es realmente el objetivo de la empresa. [\[859\]](#) «Queremos que Google sea la tercera mitad de tu cerebro», afirma el cofundador de Google Sergey Brin. [\[860\]](#)

La capacidad de los ordenadores de predecir (e influir en) lo que votará la gente, con tanta precisión como aquella con la que puede contabilizarse el voto real, ha convertido a los políticos en subordinados de los ordenadores, en gran medida como prescribiera Alfvén. Los ordenadores no necesitan armas para imponer su poder, dado que, como explicaba el científico sueco, «controlan toda la producción, y esta se detendría automáticamente en caso de una tentativa de rebelión. Lo mismo vale para las comunicaciones, de modo que, si alguien intentara algo tan insensato como una revuelta contra las máquinas de datos, esta solo podría tener un carácter local. Finalmente, la actitud del ser humano hacia los ordenadores resulta muy positiva». [\[861\]](#)

Los acontecimientos recientes han superado incluso lo que Alfvén llegó a imaginar, desde el explosivo crecimiento de las redes ópticas de datos (anticipadas en el siglo XIX por las redes de telégrafo óptico de Suecia) hasta el predominio de las máquinas virtuales.

El progenitor de la virtualización fue la máquina universal de Turing. La traducción bidireccional entre función lógica y secuencias de símbolos ya no es la abstracción matemática que era en 1936. Un solo ordenador puede albergar múltiples máquinas virtuales simultáneas; las hoy denominadas «aplicaciones» son secuencias codificadas que implantan localmente una máquina virtual específica en un dispositivo concreto; el millón (según el último recuento) de servidores de Google constituye un organismo metazoario colectivo cuya manifestación física cambia de un instante a otro.

Las máquinas virtuales nunca duermen. Solo la tercera parte de un motor de búsqueda se dedica a llevar a cabo las búsquedas solicitadas; las otras dos terceras partes se dividen entre la tarea de las denominadas «arañas web» (enviar a través de la red una multitud de organismos digitales exclusivamente dedicados a recabar información) y la labor de indexación (construir estructuras de datos a partir de los resultados obtenidos). Esa carga se reparte libremente entre distintos grupos de parques de servidores. Veinticuatro horas al día y 365 días al año, algoritmos con nombres tales como BigTable, Map-Reduce o Percolator convierten sistemáticamente la matriz de direcciones numérica en una memoria de contenido direccionable, efectuando una transformación que constituye la mayor computación jamás realizada en el planeta Tierra. Nosotros solo vemos la superficie del motor de búsqueda, introduciendo una secuencia de búsqueda y recuperando una lista de direcciones que contienen una correspondencia, junto con sus contenidos. El conjunto de todas nuestras búsquedas aleatorias de secuencias de bits significativas es una asociación, constantemente actualizada, entre contenido, significado y espacio de direcciones; un proceso de Montecarlo para indexar la matriz que subyace a la World Wide Web.

La matriz de direcciones que empezó, en 1951, como un solo hotel de 40 plantas, con 1.024 habitaciones en cada planta, hoy se ha expandido a miles de millones de hoteles de 64 plantas con miles de millones de habitaciones, si bien su contenido todavía se direcciona por medio de coordenadas numéricas que deben ser especificadas con precisión, ya que de lo contrario todo se detendría. Hay, sin embargo, otra forma de direccionar memoria, y consiste en utilizar una secuencia identificable (aunque no necesariamente única) dentro del contenido del bloque de memoria especificado como una dirección basada en un patrón.

Dado el acceso a una memoria de contenido direccionable, empezarán a desarrollarse códigos basados en instrucciones que digan: «Haz esto con eso», sin tener que especificar una posición exacta. Dichas instrucciones incluso podrían decir: «Haz esto con algo *como* eso», sin que el patrón tenga que ser exacto. La primera época de la era digital se inició con la introducción de la matriz de almacenamiento de acceso aleatorio en 1951. La segunda dio comienzo con la introducción de internet. Hoy se ha iniciado una tercera con la introducción del direccionamiento basado en patrones. Lo que antaño fuera causa de fallos —no especificar un patrón exacto o una dirección precisa— se convertirá en un requisito previo para el éxito en el mundo real.

El método de Montecarlo fue invocado como un medio de emplear instrumentos estadísticos probabilísticos para identificar soluciones aproximadas a problemas físicos resistentes al enfoque analítico. Dado que los fenómenos físicos subyacentes en realidad *son* estadísticos y probabilísticos, la aproximación de Montecarlo a menudo suele estar más cerca de la realidad que las soluciones analíticas que inicialmente se requirió que Montecarlo abordara. El direccionamiento basado en patrones y la codificación por frecuencia de impulsos resultan parecidamente cercanos al modo en que funciona en verdad el mundo, y, como Montecarlo, darán un mayor rendimiento que los métodos que requieran que las referencias

direccionales o las secuencias de instrucciones sean exactas. El poder del código genético, que tanto Barricelli como Von Neumann supieron reconocer de inmediato, radica en su ambigüedad: transcripción exacta, pero expresión redundante. Ahí reside el futuro del código digital.

Una delgada línea separa la aproximación de la simulación, y desarrollar un modelo es crucial para asumir el control. Así, para no derribar a la aviación amiga, el sistema de defensa antiaérea SAGE (Semi-Automatic Ground Environment, «Entorno Terrestre Semiautomático»), surgido del Proyecto Torbellino del MIT en la década de 1950, controlaba todos los vuelos de pasajeros, desarrollando un modelo en tiempo real que a su vez desembocaría en el sistema de reserva de líneas aéreas SABRE (Semi-Automatic Business-Related Environment, «Entorno Comercial Semiautomático»), que todavía hoy controla gran parte del tráfico de pasajeros. Google trató de calibrar lo que la gente pensaba, y se convirtió en lo que pensaba la gente. Facebook trató de cartografiar el grafo social, y se convirtió en el propio grafo social. Los algoritmos desarrollados para simular las fluctuaciones de los mercados financieros se hicieron con el control de dichos mercados, dejando atrás a los operadores humanos. «Toto —decía Dorothy en *El mago de Oz*—, tengo la sensación de que ya no estamos en Kansas.»

A lo que los estadounidenses denominaron «inteligencia artificial», los británicos lo llamaron «inteligencia mecánica», un término que Alan Turing consideraba más exacto. Empezamos por observar un comportamiento inteligente (por ejemplo, en el lenguaje, la visión, la búsqueda de objetivos o el reconocimiento de patrones) en organismos, y nos esforzamos en reproducir dicho comportamiento codificándolo en máquinas lógicamente deterministas. Sabíamos desde el principio que ese comportamiento lógico e inteligente evidente en organismos era el resultado de procesos estadísticos fundamentalmente probabilísticos, pero lo ignoramos (o dejamos los detalles

a los biólogos), mientras construíamos «modelos» de inteligencia, con resultados contradictorios.

A través del procesamiento de información estadística probabilística a gran escala se están haciendo verdaderos progresos en algunos problemas difíciles, tales como el reconocimiento del habla, la traducción lingüística, el plegamiento proteínico y hasta la predicción bursátil, aunque solo sea para el siguiente milisegundo, hoy en día tiempo suficiente para completar una transacción. Pero ¿cómo puede ser eso inteligencia si solo nos limitamos a introducir potencia estadística probabilística en el problema y ver qué sucede, sin que haya el menor conocimiento subyacente? No hay aquí modelo alguno. ¿Y cómo lo hace el cerebro? ¿Con un modelo? Estos no son modelos de procesos inteligentes, *son* procesos inteligentes.

El comportamiento de un motor de búsqueda cuando no está realizando una búsqueda activamente, se parece a la actividad de un cerebro cuando sueña. Las asociaciones realizadas cuando estaba «despierto» se reconstruyen y se refuerzan, mientras que los recuerdos captados mientras estaba «despierto» se reproducen y se desplazan. William C. Dement, que contribuyó al descubrimiento original de lo que pasaría a conocerse como sueño REM (por las siglas en inglés de *rapid eye movements*, «movimientos oculares rápidos»), lo hizo investigando sobre los niños recién nacidos, que pasan soñando una gran parte del tiempo que duermen. Dement planteó la hipótesis de que soñar era un paso esencial en la inicialización del cerebro. A la larga, si todo va bien, se desarrolla la conciencia de la realidad a partir del sueño interno, un estado al que volvemos periódicamente cuando dormimos. «El primordial papel de “dormir soñando” al principio de la vida puede residir en el desarrollo del sistema nervioso central», anunció Dement en *Science* en 1966. [\[8621\]](#)

Desde los tiempos de Leibniz hemos estado esperando máquinas que empezaran a pensar. Antes de que las máquinas universales de Turing colonizaran nuestros escritorios, teníamos una visión menos gravosa de la

forma en que aparecería inicialmente la inteligencia artificial real. «¿Es un hecho —o lo he soñado— que, mediante la electricidad, el mundo de la materia se ha convertido en un gran nervio, vibrando miles de kilómetros en un punto sin aliento del tiempo? —se preguntaba Nathaniel Hawthorne en 1851—. ¡Mejor dicho, el redondo globo es una enorme cabeza, un cerebro, instinto con inteligencia! ¿O cabe decir que es en sí mismo un pensamiento, nada más que pensamiento, y ya no la sustancia que creíamos que era?» En 1950, Turing nos pedía que consideráramos «la pregunta “¿pueden pensar las máquinas?”». [\[863\]](#) Primero las máquinas soñarán.

¿Y qué hay de la pregunta de Von Neumann acerca de si las máquinas empezarían a reproducirse? Hemos dado a los ordenadores digitales la capacidad de modificar sus propias instrucciones codificadas, y ahora están empezando a ejercer la capacidad de modificar las nuestras. ¿Estamos utilizando los ordenadores digitales para secuenciar, almacenar y replicar mejor nuestro propio código genético, optimizando así a los seres humanos, o bien los ordenadores digitales están optimizando nuestro código genético —y nuestra forma de pensar— de modo que podamos ayudarlos mejor a replicarse? ¿Y si el precio de las máquinas pensantes fueran personas ya incapaces de pensar sin máquinas? ¿Y si el precio de las máquinas capaces de reproducirse fuera el sustento de quienes ya no fueran necesarios para reproducir máquinas?

En el principio fue la línea de comandos; un programador humano suministró una instrucción y una dirección numérica. No hay nada que impida que los ordenadores suministren sus propias instrucciones, y es cada vez menor la parte de los comandos que alguna vez han tenido contacto con una mano humana o una mente humana. Ahora es igualmente probable que los comandos y las direcciones recorran el camino inverso; el ordenador global suministra una instrucción, y una dirección que representa a un ser humano a través de un dispositivo personal (Google+, por ejemplo, constituye un modo de compilar tal representación de manera fidedigna). Que del

comportamiento humano resultante solo se pueda dar cuenta desde una perspectiva estadística, no determinista, es algo que, como demostrara Von Neumann en 1951 en *Lógicas probabilísticas y síntesis de organismos fiables a partir de componentes no fiables*, no representa obstáculo alguno para la síntesis de tales seres humanos no fiables en un organismo fiable. Volvemos al paisaje que imaginaba Von Neumann en 1948, con unos cuantos grandes ordenadores manejando gran parte de la computación de todo el mundo. Hoy, sin embargo, esos grandes ordenadores no están físicamente centralizados; están distribuidos por una multitud de servidores.

En octubre de 2005, con ocasión del sexagésimo aniversario de la propuesta de Von Neumann a Lewis Strauss con respecto al MANIAC y de la propuesta de Turing al Laboratorio Nacional de Física con respecto a la ACE, fui invitado a visitar la sede central de Google en California y pude ver por dentro la organización que ha estado ejecutando precisamente la estrategia que Turing tenía en mente: recabar todas las respuestas disponibles, formular todas las preguntas posibles y relacionar los resultados. Me sentí como si hubiera entrado en una catedral del siglo XIV cuando todavía estaba en construcción. Todo el mundo estaba ocupado poniendo una piedra aquí y otra allá, mientras algún arquitecto invisible hacía que todo encajara. Me vino a la memoria el comentario que en 1950 hiciera Turing acerca de que los ordenadores eran «mansiones para las almas que Él crea». «Es difícil ver por qué un alma habría de venir a parar a un cuerpo humano cuando, desde un punto de vista tanto intelectual como moral, sería preferible un ordenador», añadía Olof Johannesson. [\[864\]](#)

En el momento de mi visita, mis anfitriones acababan de poner en marcha un proyecto para digitalizar todos los libros del mundo. De inmediato se plantearon objeciones, no por parte de los autores de libros, la mayoría de los cuales hacía tiempo que habían muerto, sino de los bibliófilos, que temían que con ello los libros pudieran de algún modo perder su alma. Otros objetaban que se iban a infringir los derechos de autor. Los libros son

secuencias de código. Pero tienen propiedades misteriosas, al igual que las secuencias de ADN. De algún modo, el autor capta un fragmento del universo, lo desentraña en una secuencia unidimensional, lo fuerza a pasar por el ojo de una cerradura y confía en que en la mente del lector surja una visión tridimensional. La traducción nunca es exacta. La ambigüedad forma parte del código. En su combinación de encarnación mortal y física de un conocimiento inmortal e incorpóreo, los libros tienen una vida propia. Entonces, ¿estamos escaneando los libros y olvidando las almas, o escaneando las almas y olvidando los libros?

—No estamos escaneando todos esos libros para que los lea la gente —me reveló un ingeniero después del almuerzo—, sino para que los lea una IA.

La IA (inteligencia artificial) que está leyendo todos esos libros también está leyendo todo lo demás, incluida la mayor parte del código escrito por programadores humanos durante los últimos sesenta años. Leer no implica entender —más de lo que la lectura de un genoma nos permite entender un organismo—, pero esta IA concreta, con o sin entendimiento, resulta especialmente acertada a la hora de realizar (y adquirir) mejoras en sí misma. Hace solo sesenta años, el antepasado de este código tenía solo unos centenares de líneas de longitud y requería la asistencia de personal hasta para localizar la siguiente dirección. Hasta ahora, la inteligencia artificial requiere de constante atención; la estrategia que emplean los niños. Ninguna inteligencia artificial realmente inteligente se revelaría a nosotros.

Ahí estaba la visión de Alfvén hecha realidad. El Gran Ordenador estaba haciendo todo lo que estaba en su mano para hacerles la vida lo más cómoda posible a sus simbioses humanos. Todo el mundo era joven, sano y feliz, y estaba excepcionalmente bien alimentado. Nunca había visto tanto conocimiento en un solo sitio. Visité una sala donde una línea de fibra óptica dedicada exclusivamente a ello importaba todos los datos que había en el mundo en relación con Marte. Oí a un ingeniero explicar cómo a la larga todos nos haríamos implantar memorias auxiliares, inicializadas

individualmente con todo lo que necesitaríamos saber. El conocimiento se volvería universal y el mal podría erradicarse. «La función biológica primaria del cerebro era la de ser un arma —había explicado Alfvén—. Todavía no está del todo claro en qué circuitos cerebrales está localizada el ansia de poder. En cualquier caso, las máquinas de datos parecen estar desprovistas de tales circuitos, y eso es lo que les proporciona su superioridad moral sobre el hombre; es por esta razón por la que los ordenadores pudieron establecer la clase de sociedad por la que el hombre había luchado y que tan estrepitosamente había sido incapaz de alcanzar.» [\[865\]](#) Me sentí tentado de apuntarme.

Al final del día tuve que abandonar la utopía digital. Le transmití mis impresiones a una compatriota de Alfvén que también había visitado la sede del Gran Ordenador y que podía arrojar algo de luz al respecto. «Cuando yo estuve allí, justo antes de la oferta pública de venta, la imagen de confort hogareño me pareció casi agobiante —me respondió—. Perros golden retriever corriendo felizmente a cámara lenta a través de los aspersores de agua sobre el césped, gente saludándose con la mano y sonriendo, juguetes por todas partes... De inmediato sospeché que en algún rincón oscuro se estaba produciendo un mal inimaginable. Si el diablo viniera a la Tierra, ¿qué lugar mejor que aquel para ocultarse?» [\[866\]](#)

El Gran Desastre no lo causó el Gran Ordenador, sino seres humanos incapaces de resistirse a subvertir ese poder para sus propios fines. «La evolución en general se ha movido regularmente en una dirección. Mientras las máquinas de datos se han desarrollado enormemente, el hombre no lo ha hecho», advertía Alfvén. [\[867\]](#) Nuestras esperanzas parecen residir en el futuro, según afirma Olof Johannesson, quien, después de que el mundo se hubiera recuperado del Gran Desastre, afirma: «Creemos —o más bien sabemos— que nos acercamos a una era de una evolución aún más rápida, un nivel de vida aún más alto y una felicidad aún mayor que nunca antes». «Y todos viviremos felices para siempre», termina el relato de Alfvén. [\[868\]](#)

Sin embargo, Olof Johannesson resultaba ser un ordenador, no un ser humano. Quienes habían tratado de utilizar los poderes de los ordenadores con fines destructivos descubrieron que uno de tales poderes era la capacidad de reemplazar a los seres humanos por algo distinto.

El otro bando todavía no se ha recuperado.

* * * *

Capítulo 18

El trigésimo noveno escalón

*Es más fácil escribir un código nuevo
que entender uno viejo.*

*JOHN VON NEUMANN a MARSTON
MORSE, 1952*

Exactamente la medianoche del 15 de julio de 1958, en la sala de máquinas situada al final de Olden Lañe, Julian Bigelow apagó el control principal, desconectó la corriente, cogió un lápiz despuntado del número 2 y escribió la siguiente entrada en el diario de la máquina: «Apagado - 12.00 medianoche - JHB». Sabedor de que ya no iba a haber ninguna entrada más en el diario, extendió su rúbrica en diagonal a través del resto de la página.

En cuestión de segundos, los cátodos dejaron de emitir, los filamentos calentadores dejaron de brillar y los tubos de memoria Williams soltaron sus últimos resquicios de carga electrostática. Ningún electrón volvería a fluir de nuevo por aquellos circuitos.

«El otro día vi un fantasma, el esqueleto de una máquina que no hace mucho había estado muy viva [y había sido] la causa de una controversia muy violenta», escribía Klári von Neumann, unos dos años después. Y proseguía:

El computador, alias el Jonnyac, el Maniac, y más formalmente la Máquina de Computación Numérica del Instituto de Estudios Avanzados... está ahora guardada bajo llave, no enterrada, sino oculta en el cuarto trasero del edificio del que solía ser la reina. Su jugo vital, la electricidad, ha sido cortado; su respiración, el sistema de aire acondicionado, ha sido desmontado. Todavía tiene su propio cuartito, uno al que solo se puede acceder a través de la gran sala que fue su antecámara, utilizada para el equipamiento auxiliar, hoy un trastero donde se guardan cajas vacías,

escritorios viejos y otra parafernalia que invariablemente va a parar a tales lugares y luego es «olvidada con el resto».

Tras la muerte de Johnny, Klári había regresado a Princeton para la inauguración del edificio Von Neumann Hall en la Universidad de Princeton, donde el Instituto de Análisis de Defensa estaba instalando un nuevo ordenador. «El viejo, el original, el primero de todos, yace silenciosamente en su ignominiosa tumba —escribía—. *Sic transit gloria mundi*». [\[869\]](#)

Después de que Von Neumann dejara Princeton para trasladarse a Washington en 1955, los ingenieros que quedaban en el Instituto esperaban construir un segundo ordenador, incorporando una larga lista de mejoras recopilada mientras se construía el primero. «Teníamos una enorme cantidad de ideas —contó Bigelow— con las que nunca hacíamos nada.» [\[870\]](#) Sin embargo, el 29 de febrero de 1956 se decidió «que no se construiría ninguna máquina nueva en el Instituto de Estudios Avanzados; que, en consecuencia, la mayoría del personal de ingeniería se iría a realizar trabajo de desarrollo en otros lugares, y que el Computador Electrónico sería transformado, pasando de ser un proyecto experimental a convertirse en un instrumento para la solución de los numerosos problemas computacionales que surgen en la comunidad científica de Princeton». [\[871\]](#)

«Al desaparecer Johnny, desapareció la grandeza —afirmó Harris Mayer—, y el Instituto, que en realidad no quería tener mucho que ver con el MANIAC, quedó fuera de juego.» [\[872\]](#) El 1 de julio de 1957, el ordenador fue transferido a la Universidad de Princeton, aunque la máquina permanecería en el mismo emplazamiento, al final de Olden Lañe. «Hay dos grandes cambios en comparación con la “época dorada” bajo los auspicios del IAS —le explicaba a Oppenheimer Hans Maehly, director en funciones desde el 1 de julio de 1956, después de que el ordenador cambiara de manos—. No se proporcionará ningún servicio de codificación a los usuarios, con la salvedad de que nosotros prepararemos subrutinas de programa generales (lo habitual

era todo lo contrario)»; y «se contabilizará el tiempo de uso del computador, ¡lo que implicará tarifas horarias y dólares!». [\[873\]](#)

A diferencia de los cinco primeros años, en que el ordenador raras veces estaba inactivo, la entrada «Sin clientes» aparece con regularidad en los diarios de la máquina de 1957 y 1958. Todos los nuevos proyectos quedaron aplazados, excepto el del desarrollo de un lenguaje de nivel superior, que, como describía Maehly, «coge las matemáticas y el inglés que el codificador escribe como su enunciado del problema y lo convierte en código máquina sin necesidad de intervención humana». [\[874\]](#) El resto de los ingenieros siguieron trabajando en el desarrollo de utilidades accesibles para el usuario tales como ASBY, una rutina de ensamblaje de direcciones relativas, y *POST MORTEM*, una rutina de depuración invocada en el caso de que un código «se detenga en el sitio equivocado, entre en bucles o cualquier cosa que haga un programa en su agonía». [\[875\]](#) FLINT era una rutina interpretativa de coma flotante. «Una rutina interpretativa es, por definición, un código que “traduce” instrucciones dadas en un nuevo “lenguaje” al “lenguaje máquina” corriente —explicaba Maehly—. Así, la máquina con FLINT actuará como una nueva máquina aunque no se haya hecho ningún cambio físico en ese sentido. Por lo tanto, hablaremos de FLINT como si fuera una máquina virtual.» [\[876\]](#)

Un ordenador con aritmética de coma flotante controla la posición de la coma decimal (o binaria). Sin la coma flotante, el programador tiene que volver a traer los números «a primer plano» al avanzar la computación. Después de debatir la cuestión en noviembre de 1945, el grupo del IAS decidió prescindir de la coma flotante, poniendo más memoria directamente a disposición de aquellos códigos que, como los de Barricelli, no invocaban la aritmética normal, o de los códigos de Montecarlo, que consumían todos y cada uno de los bits disponibles. «Von Neumann creía que cualquiera que fuera lo bastante inteligente como para utilizar un ordenador como este también lo era como para entender los requisitos de precisión de todos los procesos

implicados —explicó Bigelow—. Nunca pensó que los ordenadores llegarían a ser manejados por imbéciles desde el punto de vista de las matemáticas. Él creía que quienes manejarían los ordenadores serían matemáticos, físicos e investigadores tan buenos como él mismo.» [\[877\]](#) La coma flotante representaba un obstáculo para tener un universo completamente vacío en el que trabajar.

Cada posición de memoria alojaba una secuencia de 40 bits, cuyo primer bit (el situado más a la izquierda) representaba el signo (0 para los números positivos, 1 para los negativos), dejando los otros 39 para el número en sí. Sin la coma flotante, la coma binaria (equivalente a la coma decimal en la aritmética decimal) se fija justo a la derecha del primer bit. Las 39 posiciones siguientes, de izquierda a derecha, representan 2^{-1} ($^{[1]}/_2$), 2^{-2} ($^{[1]}/_4$), 2^{-3} ($^{[1]}/_8$), y así sucesivamente hasta 2^{-39} ($^{[1]}/_{549.755.813.888}$). De este modo, el ordenador solo almacena números que van de -1 a +1, con una precisión de 39 posiciones binarias. Por razones que el informe de 1946 *Discusión preliminar sobre el diseño lógico de un instrumento de computación electrónico* explicaba con detalle, así se aprovechaban al máximo las 1.024 secuencias de 40 bits disponibles.

La aritmética elemental, o bien se realizaba en una sola operación multiplicada por treinta y nueve (en el caso de la suma o la resta), o bien se repetía secuencialmente treinta y nueve veces (en el caso de la multiplicación o la división). La suma y la resta eran exactas. En cambio, la multiplicación de dos números de treinta y nueve dígitos produce un número de setenta y ocho dígitos, y la división puede producir un número de longitud arbitraria. El resultado había de truncarse, y dejaba de ser exacto. «Todo número x que aparece en la máquina computadora es una aproximación de otro número x' , que habría aparecido si el cálculo se hubiera realizado de manera absolutamente rigurosa», explicaban Burks, Goldstine y Von Neumann en 1946. [\[878\]](#) Antes o después hay que escoger un valor para el trigésimo noveno dígito, desechando los bits restantes. La decisión de cómo

realizar la aproximación requería del juicio humano, y realizar esa aproximación, según el algoritmo escogido, constituía el trigésimo noveno paso, completando así los «treinta y nueve escalones».

FLINT, «que, por lo que se refiere al usuario, transforma nuestra máquina en un instrumento más lento, menos sofisticado, cuya codificación resulta mucho más sencilla», liberaba al usuario final de la necesidad de comunicarse directamente con la máquina. «El lenguaje externo generalmente planificado debería verse lo menos influido posible por las peculiaridades de la máquina; en otras palabras, debería estar lo más cerca posible del pensamiento del programador», se anunciaba. El usuario «no tiene por qué conocer el lenguaje máquina en absoluto, ni siquiera, y especialmente, cuando depura su programa». [\[879\]](#) En lugar de que los seres humanos tuvieran que aprender a escribir código en lenguaje máquina, las máquinas empezaron a aprender a leer código escrito en lenguaje humano; una tendencia que se ha mantenido desde entonces.

Pese a esta tentativa de facilitar las cosas lo máximo posible a los nuevos propietarios, la Universidad de Princeton tuvo problemas para hacer que la máquina funcionara. «Nuestros esfuerzos para hacerla funcionar de manera regular durante el último año han sido un fracaso —se quejaba Henry D. Smyth (autor de *Energía atómica con fines militares*) al anunciar el cierre del MANIAC en julio de 1958—. Aunque encarna los principios de las máquinas modernas, era esencialmente un modelo en desarrollo y no se había diseñado muy a conciencia.» [\[880\]](#)

Bigelow discrepaba. «Cierta día del verano pasado, el equipo de la universidad que maneja la máquina decidió “modificarla y mejorarla” con el resultado de que, tras la marcha de Bill Keefe, el último de los ingenieros de capacitación iniciales, esta se estropeó y resultó prácticamente inoperable desde julio hasta noviembre de 1957», informaba a la Comisión de Energía Atómica en 1958. Finalmente, el 22 de diciembre, explica Bigelow, Henry Smyth «me preguntó si yo podía dedicarme a hacerla funcionar... dado que la

universidad consideraba que esa era su única posibilidad. Lo medité y, por varias razones, como el hecho de que uno de los hombres, con once hijos, obtuviera sus ingresos de su trabajo en el proyecto, etc., emprendí la tarea». Bigelow dividió al personal disponible en dos equipos repartidos en dos turnos completos, fines de semana incluidos, a excepción del 1 de enero y el 25 de diciembre, y «aproximadamente el 1 de marzo conseguimos que las cosas fueran bastante bien y, con algunas interrupciones menores... ha computado todo lo que estaba a la vista». [\[881\]](#)

«Los desconcertantes acontecimientos del último par de semanas han terminado con la decisión de cerrar el MANIAC el 1 de julio —le escribía Martin Schwarzschild a Hedi Selberg el 6 de junio de 1958, informándole del final de su trabajo sobre la evolución estelar—. Su código ha funcionado maravillosamente el último par de semanas... [y] hemos llegado a un punto en la evolución en el que ha surgido una nueva situación física, no por el inicio de una combustión de helio, como esperábamos [Fred] Hoyle y yo, sino por una inestabilidad convectiva en el núcleo de helio causada por el flujo de calor que sale de ese núcleo en contracción... Todavía no tengo ni idea de lo que hará la estrella.» [\[882\]](#) El universo de Schwarzschild se vio detenido.

Salvo por una descripción retrospectiva presentada en Los Álamos en 1976, Bigelow nunca volvería a hablar o escribir públicamente sobre el MANIAC. Incluso el nombre que se le había dado a la máquina fue eliminado. Cuando, en 1954, Garrett Birkhoff aludió al MANIAC en un artículo sobre hidrodinámica numérica, Herman Goldstine le aconsejó: «No creo que el título "Maniac" resulte aceptable aquí». [\[883\]](#) La copia de Los Álamos pasó a conocerse como MANIAC, mientras que el MANIAC original pasó a conocerse como MANIAC-0 o, simplemente, la máquina «del IAS» o «de Princeton». Bigelow acordó que los restos del ordenador fueran a parar al Instituto Smithsonian, y, en preparación del traslado, se retiró todo el equipamiento auxiliar. El 4 de agosto de 1958 pagó a la universidad 406 dólares en efectivo en concepto de «Propiedad residual miscelánea», y el 18 de

diciembre de 1959 compró el resto del «equipo electrónico sobrante del extinto proyecto de computador» por 275 dólares. [\[884\]](#) Gerald Estrin acordó que el tambor magnético original de 2.048 palabras se donara al Instituto Weizmann de Israel, y finalmente el núcleo principal de la máquina fue transportado a Washington en 1962.

A cambio de que la universidad tuviera derecho de uso sobre el ordenador sin coste alguno, cuando este se construía se había permitido al personal del Proyecto de Computador Electrónico matricularse como estudiantes de posgrado en la universidad, una ventaja que en la posguerra ayudó a atraer a jóvenes ingenieros electrónicos ansiosos por trabajar para Von Neumann al tiempo que se sacaban el doctorado. Bigelow seguiría asistiendo a clase en el departamento de física hasta que su contrato fuera rescindido por la universidad en 1960. «Dado que el acuerdo previo le exime de la obligación de pagar la matrícula, para evitar ulteriores dificultades parece prudente que no siga usted contando con el estatus de estudiante matriculado —se le advertía—. Por supuesto, es usted libre de realizar una tesis y presentarse al examen final oral.» [\[885\]](#) Las puertas que abriera Von Neumann se cerraban ahora.

Cuando el Instituto transfirió el ordenador a la universidad, se dio por supuesto que, a cambio, esta proporcionaría acceso a sus ordenadores a los estudiosos del Instituto. Pero cuando los astrónomos del IAS intentaron ejercer ese privilegio en 1966, el asunto terminó en disputa. «La transferencia del MANIAC a la universidad fue un gesto generoso por parte del Instituto, pero temo que se convierta en una especie de desastre para nosotros —se quejaba Dean Pittendrigh, que estaba “considerando” el asunto por parte de la universidad—. Hemos gastado bastante más de 100.000 dólares en él y le hemos sacado muy poca computación útil... En todo caso, invitamos al Instituto a usar el Centro de Computación de la Universidad en cualquier momento. Las máquinas que ahora empleamos en la universidad y las tarifas que podemos ofrecerles por su uso se enumeran más abajo.» [\[886\]](#)

Las tarifas eran de 110 dólares la hora por un IBM 7044 y 137,50 dólares la hora por un IBM 7094. Oppenheimer respondió: «¿Se puede “considerar” si uno ha de mantener o no su palabra?». [\[887\]](#)

Bigelow, solo, permaneció en el Instituto después de que todos los demás ingenieros se dispersaran. Aunque sus contribuciones, en opinión de Von Neumann, hubieran sido «muy importantes, considerablemente más de lo que se deduciría de una inspección superficial de las publicaciones», su falta de publicaciones académicas le perjudicó, por más que en el IAS no hubiera requisitos de publicación explícitos. [\[888\]](#) Puede que su «Informe de progreso provisional sobre la realización física de un instrumento de computación electrónica» fuera el documento más influyente jamás publicado por el IAS, pero en este caso no contaba. [\[889\]](#) Sin Von Neumann, Bigelow ya no encajaba, y la Escuela de Matemáticas esperaba de él que se marchara con elegancia para irse a IBM o volver a una institución como el MIT.

«Pienso que la mayoría de los que estábamos allí abajo (bueno, en cuanto a Bigelow y Von Neumann no hablaré por ellos, pero sí en cuanto a mí, y sospecho que también Pomerene y la mayoría del otro grupo de ingenieros) solo estábamos haciendo un trabajo, y era un tipo de trabajo interesante — explicó Willis Ware, recordando los comienzos en el sótano de Fuld Hall—. No teníamos la gran capacidad de previsión ni la gran omnisciencia necesarias para prever todas las consecuencias. Bueno, ellos habían iniciado un pequeño vector que posteriormente dio como resultado vectores muy importantes.» [\[890\]](#)

¿Cómo logró el vector de Von Neumann dejar atrás a todos los demás grupos que trataban de construir una materialización práctica de la máquina universal de Turing en 1946? El grupo Eckert-Mauchly y el grupo de Von Neumann competían por la financiación y el personal de ingeniería. «Eckert y Mauchly tienen un contrato con la Oficina de Normalización del gobierno, inicialmente por un año y 50 kilopavos [\[XXVIII\]](#) —informaba Von Neumann a Klári en noviembre de 1946—. Ya han empezado y nos han robado a dos de

nuestros hombres, que previamente nosotros les habíamos robado a ellos.»

[\[891\]](#) En 1949, el ordenador UNIVAC de Eckert-Mauchly estaba listo para ser fabricado, y la adopción de su máquina por parte del gobierno estadounidense los habría situado en una firme posición de ventaja.

«Después de meticulosas consideraciones, se decidió... que la Oficina debería proceder a adquirir tres UNIVAC de Eckert y Mauchly, uno para la Oficina del Censo y dos para el *establishment* militar —informaba un memorando sin fecha del programa de computación electrónica de la Oficina Nacional de Normalización, aparentemente redactado en 1949—. Durante más o menos dos días el horizonte parecía claro», añadía el informe. Y proseguía:

La Oficina no afrontó ningún obstáculo adicional. Sin embargo, ese feliz estado se disipó de manera bastante inesperada cuando la doctora Mina Rees y el coronel Osear Maier, en representación de la Oficina de Investigación Naval y el Mando de Material del Aire, respectivamente, informaron a la Oficina de que la Eckert-Mauchly Computer Corporation había sido sometida a una investigación de seguridad en la que no había recibido «un informe favorable», y de que, por consiguiente, la Oficina no debía utilizar los fondos de la ONR [Oficina de Investigación Naval] y el AMC [Mando de Material del Aire] para la obtención de los UNIVAC de dicha empresa. La Oficina únicamente pudo proseguir las negociaciones para la adquisición de un computador en lugar de tres, y se la obligó a no informar a la empresa sobre la investigación de seguridad. [\[892\]](#)

La balanza se inclinaba, pues, en detrimento del UNIVAC y en favor de la «Calculadora de Defensa», más tarde conocida como IBM 701, cuya primera copia fue entregada a Los Álamos en 1953. Eckert y Mauchly se endeudaron cada vez más, hasta que en 1950 se vieron forzados a vender su empresa (y su cartera de patentes) a Remington Rand, cuyo vicepresidente era el general Leslie Groves. «Esas máquinas deberían encontrar un mercado razonable», le escribían Goldstine y Von Neumann a Groves en 1949, en una carta de nueve páginas que detallaba cómo se había remozado al ENIAC para

convertirlo en un ordenador de programa almacenado y cómo Remington Rand podía modificar su equipamiento de tarjetas perforadas para obtener «una máquina de uso general [cuya] memoria [pudiera] utilizarse para contener no solo datos numéricos, sino también instrucciones lógicas». [\[893\]](#)

Después de adquirir la Electronic Control Company [\[XXIX\]](#)

Jack Rosenberg dejó el IAS en 1951 para pasar a ocupar un puesto en la delegación de General Electric en Syracuse, se trasladó a Los Ángeles en 1954 y, cuando la muerte de Von Neumann puso fin a su proyecto de trabajar en el futuro nuevo laboratorio de computación de la UCLA, se incorporó al Centro Científico de IBM en Los Ángeles. «Un ingeniero de IBM que llevaba mucho tiempo en la empresa me enseñó algunos diagramas de circuitos del primer ordenador electrónico de la compañía, el 701 — recordaba—. Era una copia del ordenador de Von Neumann, que yo había desarrollado entre 1947 y 1951.» En 1969, IBM propuso a Rosenberg que se incorporara a la junta de consejeros, oferta que él rechazó, alegando que «la empresa era demasiado grande y corrupta». [\[894\]](#) Actualmente vive en Pacific Palisades, escuchando música en el mismo sistema de altavoces de «sonido coherente» sincronizado en fase que instalara en 1949 en la casa de Einstein. Como muestra de agradecimiento, este último concedió a Rosenberg una extensa y sincera entrevista, que Rosenberg grabó en un equipo de alta fidelidad, pero que no piensa publicar. «Einstein dijo que nunca debía sacarse a la luz pública», explicó. [\[895\]](#)

En 1954, Gerald y Thelma Estrin se trasladaron a Israel a fin de supervisar la construcción del WEIZAC en el Instituto de Ciencias Weizmann de Rehovot, en 1955 regresaron al IAS y en 1956 se trasladaron a la UCLA, donde esperaban incorporarse al nuevo laboratorio de computación que Von Neumann planeaba construir. En la UCLA ayudaron a crear el nuevo departamento de informática, que alimentaría a toda una nueva generación de informáticos emprendedores, entre ellos a sus propias hijas, Deborah y Judy Estrin, y a Paul Baran, de RAND. «Fue un asombroso accidente,

maravilloso por todo lo que pasó después, que la información no estuviera clasificada», contaron los Estrin, en referencia al Proyecto de Computador Electrónico del IAS. [\[896\]](#)

Andrew y Kathleen Booth volvieron a Inglaterra, donde seguirían desempeñando un importante papel en el constante desarrollo de la computación digital y la cristalografía de rayos X, antes de trasladarse a Canadá en 1962. «¡A Kathleen y a mí nos divertía aquella preocupación por nuestro bienestar moral!», respondería Andrew al enseñarle una copia de la discusión entre Goldstine y Von Neumann, en febrero de 1947, sobre la forma más conveniente de alojarlos en el IAS. [\[897\]](#)

Joseph y Margaret Smagorinsky contribuyeron a fundar el Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos de Princeton, donde se continuaron los modelos de simulación del clima en el punto en el que los había dejado el proyecto de meteorología del IAS. Jule Charney y Norman Phillips se establecieron en el MIT y conformaron el núcleo de un grupo de meteorología computacional que resolvería algunas de las diferencias entre los motivos de John von Neumann para creer que el tiempo podía resultar predecible y las razones de Norbert Wiener para creer que no podía serlo. Hedi Selberg transfirió su experiencia al Laboratorio de Física del Plasma de Princeton, y Ralph Slutz se convirtió en el director de computación del Centro Nacional de Investigación Atmosférica de Boulder, Colorado. Richard Melville y Hewitt Crane se fueron al Instituto de Investigación de Stanford, donde desarrollarían, entre otras cosas, el sistema ERMA de compensación electrónica interbancaria de cheques legibles mecánicamente. Dick Snyder volvió a la RCA, donde trabajó en la memoria de núcleos magnéticos, aunque no pudo convencer a la empresa, como hiciera Zworykin con la televisión, de que tomara la delantera en ese campo. Morris Rubinoff regresó a la Universidad de Pensilvania y estuvo durante un tiempo en Philco, donde supervisó el diseño del Philco 2000, el primer ordenador totalmente transistorizado, con aritmética asíncrona, una característica desarrollada en

el IAS. Arthur Burks se estableció en la Universidad de Michigan, donde fundó el Grupo de Computadores Lógicos en 1949, editó la *Teoría de los autómatas autorreproductores* de Von Neumann en 1966, y en 2003, en colaboración con Alice Burks, publicó la obra definitiva *Who Invented the Computer?* («¿Quién inventó el ordenador?»).

Robert Oppenheimer fue despojado de su acreditación de seguridad en 1954, un día antes de que expirara por sí sola, en un acto deliberado de humillación pública que puso fin al sueño de la posguerra de que las armas nucleares estuvieran bajo el control civil. «El ejército lo quería todo: los laboratorios, los ordenadores, el futuro entero, de las armas nucleares, de la A a la Z —explicó Harris Mayer—. Cuando creamos la AEC se excluyó al ejército de lo que constituía su mayor potencia de fuego, y ellos nunca lo olvidaron y querían recuperarla. Recuperaron el mando de las armas nucleares y los ordenadores, y una parte de ello, una parte menor, en realidad, consistió en desacreditar a Oppenheimer.» ^[898] Su caja fuerte de la AEC y los guardias que la vigilaban en Fuld Hall fueron retirados. El cuerpo docente del IAS dejó de lado sus diferencias para apoyar a Oppenheimer contra quienes querían echarle de allí, y de hecho seguiría siendo el director del Instituto hasta 1966, cuando, afectado por un cáncer de garganta, dimitió y abandonó Olden Manor para convertirse en vecino de nuestra familia durante su último año. El antiguo señor de la meseta de Los Álamos y de Olden Farm era ahora una figura fantasmal, pálida y delgada, que deambulaba por el jardín al otro lado de nuestro seto.

Lewis Strauss, el azote de Oppenheimer, siguió siendo administrador del Instituto hasta 1968, cuando, dolido por la persistente desaprobación de su actuación en el caso Oppenheimer, finalmente dimitió. Siguió manteniendo buenas relaciones con el FBI, y un memorando del agente especial al mando de la sede de Nueva York al director de la agencia registra que, a su regreso de Ginebra el 21 de agosto de 1955, «el almirante y la señora de LEWIS STRAUSS y el ayudante del almirante STRAUSS... se reunieron con un agente

de enlace de esta oficina, que facilitó su entrada por la aduana y dispensó las atenciones habituales. El almirante STRAUSS hizo varios comentarios favorables relativos al director y a la agencia, y uno de ellos fue que “el señor HOOVER siempre está ahí cuando lo necesitas”». [\[899\]](#)

Abraham Flexner, que murió en 1959, apenas tuvo nada más que ver con el Instituto tras su marcha en 1939. Según su hija, Jean Lewinson, «cuando terminó con él fue una separación completa». En 1955, cuando su padre tenía ochenta y ocho años, ella informó de que «este verano, en Ontario, el doctor Flexner nadó en un agua tan fría que el señor Lewinson ni se acercaría a ella. Ahora no corta leña, pero sí pesca y pasea». [\[900\]](#)

Vladimir Zworykin murió en 1982 mientras trabajaba en las aplicaciones biomédicas de la electrónica, desalentado al ver que la televisión, el invento en el que él depositara las mayores esperanzas, había sido tan mal empleada. Tras su frustrada aventura con el Selectrón, la RCA nunca volvió a tomar la delantera de manera decisiva en la computación digital, y dedicó sus recursos a la televisión comercial y a su subsidiaria radio televisiva, la NBC.

Lewis Fry Richardson vivió hasta 1953, justo el tiempo suficiente para ver cumplidos sus sueños de una predicción meteorológica numérica y sus temores de un arsenal ilimitado. Aunque celebró los pronósticos del ENIAC en 1950, de los que le informó Jule Charney, como «un enorme avance científico», por entonces hacía ya tiempo que se había retirado del trabajo meteorológico, pasando a dedicar su tiempo, en cambio, a un estudio inicialmente publicado en 1944 y titulado «La distribución de las guerras en el tiempo». Las evidencias eran desalentadoras. «La concordancia con la ley de acontecimientos improbables de Poisson llama nuestra atención sobre la existencia de un persistente trasfondo de probabilidad —concluía—.

Si los inicios de las guerras hubieran sido los únicos hechos involucrados, podríamos haberlo denominado un “trasfondo de pugnacidad”. Pero, dado

que los finales de las guerras tienen la misma distribución, ese trasfondo parece estar compuesto por un agitado deseo de cambio.» [\[901\]](#)

Norbert Wiener murió de un infarto en 1964, en el curso de una visita a Estocolmo. Desilusionado por las ambiciones militares en general y el uso de las armas nucleares contra civiles en particular, el fundador de la cibernética había empezado a hablar claro en contra de la investigación patrocinada por los militares. «Las máquinas pueden trascender, y de hecho trascienden, algunas de las limitaciones de sus diseñadores —advertía en las páginas de la revista *Time*—. Eso significa que, aunque teóricamente estén sujetas a la crítica humana, dicha crítica puede resultar ineficaz.» El autor de *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series* («Extrapolación, interpolación y filtraje de series temporales estacionarias») consideraba que las máquinas, cada vez más rápidas, inevitablemente dejarían atrás a los seres humanos. «Debido a la propia lentitud de las actividades humanas, nuestro control eficaz de las máquinas puede verse anulado», advertía, mencionando las armas nucleares controladas por ordenador y la manipulación bursátil controlada por ordenador como dos de las formas en que se estaba cediendo el poder a las máquinas. [\[902\]](#)

Stan Ulam vivió hasta 1984, dividiendo su tiempo entre Los Alamos, Boulder y, posteriormente, Santa Fe. Siguió siendo tan imaginativo y matemáticamente creativo como lo había sido de niño, relacionándose con sus colegas que seguían trabajando en Los Álamos y manteniendo vivas las conversaciones que se habían iniciado en el café Escocés de Lvov. «Así como los animales juegan cuando son jóvenes preparándose para situaciones que surgirán más tarde en sus vidas, puede que las matemáticas sean, en gran parte, una serie de juegos —concluía en 1981—, y puede que sean el único modo de cambiar la mente humana, individual o colectiva, a fin de prepararla para un futuro que hoy nadie puede imaginar.» [\[903\]](#) Hordas de organismos digitales autorreplicantes Turing-completos, en gran medida como él los imaginara en 1952, pueblan hoy una matriz ilimitada, mientras

que las empresas y los individuos que los alimentan son ricamente alimentados a cambio.

Edward Teller sobrevivió a Von Neumann cuarenta y seis años. Se mantuvo en sus trece con respecto al desarrollo de la bomba de hidrógeno, pero lamentó haber permitido que su testimonio en las audiencias de Oppenheimer se utilizara para identificar a este como un riesgo para la seguridad, y cuestionó si el secretismo constituía o no realmente una vía para reforzar la seguridad. «La ciencia florece con la transparencia — reflexionaba en 1981—, pero durante la Segunda Guerra Mundial nos vimos obligados a actuar con secretismo. Después de la guerra se reconsideró la cuestión del secretismo..., pero la práctica de la clasificación continuó; afectaba a nuestra “seguridad” que funcionara o fracasara... Las limitaciones que nos imponemos a nosotros mismos restringiendo información son mucho mayores que cualquier ventaja que puedan obtener otros.» [\[904\]](#)

Teller había crecido compitiendo con Johnny, que era mayor y más rápido que él, y, cuando finalmente lo alcanzó, aquel fue un momento trágico para ambos. «Durante las últimas semanas, los últimos meses de su vida, le vi con bastante frecuencia, aunque tenía que cruzar el continente para visitarle —recordaría Teller—. Solíamos hablar de todo lo que se nos ocurría. Él era increíblemente rápido; nunca hemos visto a nadie que le superara. Y luego, en el hospital, quiso continuar. Pero ya no iba por delante de mí. Para Johnny Von Neumann, el pensamiento y las matemáticas eran una necesidad vital. Y él quería verme, una y otra vez, porque quería ponerse a prueba a sí mismo. “Todavía puedo hacerlo.” Pero no podía.» [\[905\]](#)

Cerca del final, Von Neumann, que ya no podía trabajar prescindiendo por completo de las notas, le pidió a uno de sus visitantes, identificado solo como «JmcD», «una nota sobre lo que hablamos el miércoles pasado», que redactó del siguiente modo:

Mantuvimos una conversación algo aleatoria, pero esta fue la pauta: dijo usted que se hallaba en un estado de introversión y luchando con un

problema de claustrofobia en el espacio y en el tiempo; en el espacio porque su cuerpo físico es un obstáculo, y en el tiempo debido a la lentitud de las reacciones elementales... Dijo usted que esos problemas podrían superarse con un dispositivo mecánico... que proyectara la página de un libro sobre una superficie fotosensibilizada en el techo, un lápiz fosforescente para escribir en él y un dispositivo con opciones: para mover páginas hacia delante y hacia atrás, una o varias páginas, con el puntero luminoso provisto de varios colores con un método de borrado. Dijo usted que tal invento era difícil, pero no imposible... La idea es poder leer y escribir «puramente en conciencia sin interferencia física». [\[906\]](#)

Tras la muerte de Johnny, Klári permaneció en Washington, donde puso en orden sus asuntos y organizó la publicación de sus obras completas. Aun después de la decisión de incluir solo los trabajos ya previamente publicados, dichas *Obras completas* todavía llenaron alrededor de 3.689 páginas, repartidas en seis volúmenes y finalmente publicadas en 1963. Oppenheimer, que todavía luchaba por esclarecer el papel que debía desempeñar el Instituto con respecto a los papeles de Einstein, se quedó sin saber qué hacer cuando apareció el padrino literario de Von Neumann. Se trataba del «capitán» Ian Robert Maxwell, un magnate de la industria editorial de origen checoslovaco y futuro miembro del Parlamento británico que se ofreció a encargarse de la publicación de las *Obras completas*, asegurando a Klári (y a Oppenheimer) que «mi papel en este proyecto es el del “mecánico” que tiene las instalaciones y los “conocimientos” para esa tarea, y puedo decir que estoy encantado de poder ayudar en esta noble causa». [\[907\]](#)

Maxwell había visitado Los Alamos cuando inauguró su editorial Pergamon Press, y, además de trabar amistad con los Von Neumann, entabló una relación particularmente estrecha con los Ulam. «Ellos nos enviaban a sus hijos de vacaciones —explicó Lrancoise, cuya hija, Claire, pasó su año de formación en el extranjero en Oxford bajo la protección de los Maxwell—. Yo

solía bromear diciendo que, o llegaría a primer ministro, o terminaría en la cárcel —añadió—. Estuvo cerca de ambas cosas.»

En octubre de 1957, Oppenheimer telefoneó a Maxwell para intentar concretar las condiciones de la publicación de las *Obras completas* de Von Neumann.

—Si cuestan demasiado dinero, eso limitará mucho su utilidad. ¿Tiene usted alguna idea? —le preguntó.

—Mi idea es sobre unas diez libras —le contestó Maxwell.

—¿Por toda la obra?

—Sí.

—¡Milagroso! —exclamó Oppenheimer.

—Esa será mi aportación a este hombre —le respondió Maxwell, que propuso a Eugene Wigner como editor.

Oppenheimer, por su parte, propuso al matemático Shizuo Kakutani. Y Klári propuso al geofísico Cari Eckart, que vivía en La Jolla y había sido una de las razones de que el acuerdo de Von Neumann con la Universidad de California incluyera una cláusula que le permitía pasar en la Institución Oceanográfica Scripps todo el tiempo que quisiera. [\[908\]](#)

Eckart rechazó el encargo, que recayó en Abraham Taub, pero se reunió con Klári para hablar del proyecto. Se casarían en 1958, en el que sería el cuarto matrimonio de Klári. [\[909\]](#) El primero había sido por amor, el segundo por dinero, el tercero por inteligencia y el cuarto, por California. Klári se estableció en La Jolla, justo encima de Windansea Beach, cuya cultura surfista antisistema no tardaría en ser inmortalizada en *La banda de la casa de la bomba*, de Tom Wolfe. Aunque Cari Eckart y John von Neumann, según Klári, trabajaran «ambos en campos similares», estaban, «como seres humanos, más lejos el uno del otro» de lo que Johnny lo estaba «del banquero no intelectual» con el que se había casado hacía mucho tras separarse de su primer y ludópata marido en Budapest. «Por primera vez en

mi vida me he relajado y he dejado de perseguir arco iris», escribía en la última página de unas memorias inacabadas de su vida.

«La Jolla es un lugar maravilloso, y siento que ya no tengo que viajar más porque ya he llegado», añadía en una posdata escrita a lápiz poco antes de su muerte. [\[910\]](#) Su cuerpo fue encontrado lamido por las olas en Windansea Beach, al pie de Gravilla Street, a las 6.45 de la mañana del 10 de noviembre de 1963, «con un vestido negro con mangas hasta las muñecas y puños de piel negros, escote alto y cremallera detrás». El cuerpo del vestido, «que al principio tenía el aspecto de una chaqueta acolchada... contenía alrededor de siete kilos de arena mojada». Su sedán negro (el último Cadillac de Johnny) se encontraba aparcado a menos de una manzana de distancia, con el motor frío. Sus joyas fueron halladas en la casa, sobre una mesa de centro en la sala de estar, junto a varios vasos «con contenido alcohólico residual», y su nivel de alcohol en sangre, medido a las diez de la mañana, era del 0,18 por ciento. Tras ulteriores investigaciones, el juez de instrucción determinó que «se sabía que le gustaba nadar con oleaje fuerte» y que, según su psiquiatra, que «había podido establecer cierta línea de “instinto de muerte” en su familia», Klári encontraba a su marido «desganado; absorto en su trabajo; no quería salir a relacionarse». Cari Eckart declaró «que se había retirado sobre las 3.00 de la mañana, dejando a su esposa todavía levantada ([tenían] habitaciones separadas en extremos opuestos de la casa)». No había ningún indicio de traumatismo, y sus niveles de cloruro en sangre (corazón izquierdo, 667; corazón derecho, 660) eran compatibles con la muerte por ahogamiento en agua salada (en agua dulce, el diferencial de concentraciones se invertiría). Se le encontró arena en los pulmones. Su corazón, que parecía tener buena salud, pero que nunca se había recuperado del suicidio de su padre, pesaba 280 gramos. [\[911\]](#)

«Nunca dejo de preguntarme por mi buena suerte, que me condujo a este apasionante laberinto de personas y acontecimientos —escribió Klári en la introducción a *The Grasshoper* («El saltamontes»)—. Yo, una pequeña

motita, un insecto insignificante que iba cantando por ahí buscando dónde podía haber mayor diversión, y que luego [fue] barrido por la turbulencia de fuerza huracanada de los acontecimientos internacionales y las mentes globales.» [\[912\]](#) John von Neumann murió a los cincuenta y tres años; Klári, a los cincuenta y dos. Atrapada entre el secretismo que rodeaba a su trabajo sobre armas nucleares y la sombra de su famoso marido, su papel en los comienzos del método de Montecarlo y la prehistoria de los lenguajes de programación sigue siendo oscuro. La segunda mitad del siglo XX podría haberse desarrollado de manera distinta sin las aportaciones de aquella patinadora artística que nació hace una centuria en Budapest.

Las bombas que Klári ayudó a construir fueron un éxito espectacular. Para cuando Estados Unidos terminó sus pruebas en las islas Marshall, había habido 43 detonaciones en Enewetak y 23 en Bikini, que liberaron un total de 108 megatones. Los ordenadores hicieron su trabajo a la perfección, pero en *Castle Bravo*, la sucesora de *Ivy Mike*, se produjo un error humano, quizá el mayor error humano de la historia, al no tener en cuenta la generación de tritio a partir de litio-7 además de litio-6. Se esperaba que la detonación, realizada el 1 de marzo de 1954, liberara alrededor de 6 megatones, pero en lugar de ello liberó más de 15. Una persona, que iba a bordo del barco de pesca japonés *Dragón afortunado*, resultó muerta en el acto, y hubo un número desconocido de víctimas afectadas indirectamente que morirían más tarde. Los efectos secundarios obligaron a la evacuación de Rongelap, Rongerik, Ailinginae y Utirik, y todavía hoy hay zonas de Bikini que siguen siendo inhabitables. La lluvia radiactiva se dispersó por todo el globo. El estroncio-90 de *Ivy Mike* y *Castle Bravo*, absorbido en lugar de calcio en la dentición infantil, impulsaría la oposición a las pruebas atmosféricas durante los diez años siguientes. Los ordenadores electrónicos de primera generación potenciaron la primera generación de armas nucleares, y los ordenadores de nueva generación potenciaron la nueva generación de armas nucleares, un ciclo que culminaría en internet, el microprocesador y el misil balístico

intercontinental de ojivas múltiples. Willis Ware, tras obtener su doctorado en Princeton, dejó el Instituto en agosto de 1951 y trabajó brevemente en el desarrollo de misiles en la aviación estadounidense antes de establecerse en RAND, en Santa Mónica, donde acababa de construirse el JOHNNIAC, una copia mejorada del MANIAC. El JOHNNIAC (John von Neumann Numerical Integrator and Automatic Computer, «Integrador Numérico y Computador Automático John von Neumann») fue diseñado para ser al menos diez veces más fiable que su antepasado de Princeton, e incorporaba una memoria de trabajo de 40 tubos Selectrón que almacenaban 256 bits cada uno. En lugar de emplearse en el diseño de armas termonucleares, el JOHNNIAC se utilizó para entender mejor sus efectos. Una amplia serie de memorandos de investigación de RAND, con títulos como «Composición de equilibrio y propiedades termodinámicas del aire a 24.000 °K», examinaban qué le harían a la superficie de la Tierra unas temperaturas que eran cuatro veces las de la superficie del Sol.

RAND empezó a examinar cómo diseñar redes de comunicaciones digitales redundantes para coordinar la defensa tanto antes como después de un ataque nuclear, alentada por las conclusiones de los especialistas en teoría de juegos de que una red de comunicaciones en condiciones de sobrevivir, y capaz de lanzar ni que fuera un puñado de los misiles que quedaran, constituía la mejor medida preventiva frente a un ataque premeditado. Se omitía, por más que se considerara, la posibilidad de que los supervivientes de un ataque nuclear, en lugar de dar una última respuesta suicida, pudieran querer coordinarse para no lanzar un ataque de represalia. «Había un consenso claro, aunque no formalmente declarado —explicaba Paul Baran, un colega de RAND que contribuyó a desarrollar la arquitectura de comunicaciones hoy conocida como “conmutación de paquetes”—, en el sentido de que una red de comunicaciones en condiciones de sobrevivir es necesaria para parar una guerra, además de ayudar a evitarla.» [\[913\]](#)

El estudio de Baran titulado «Sobre las comunicaciones distribuidas» se publicó en 1964, y desempeñaría el mismo papel en el desarrollo de internet que el desempeñado por la *Discusión preliminar sobre el diseño lógico de un instrumento de computación electrónico* en el desarrollo de las máquinas individuales de las que internet se componía. [\[914\]](#) También se tomó una decisión similar al no patentar o clasificar el trabajo. «Consideramos que pertenecía propiamente al dominio público —explicó Baran—. No solo Estados Unidos estaría más seguro con un sistema de mando y control en condiciones de sobrevivir, sino que ¡Estados Unidos estaría más seguro aún si la Unión Soviética tenía también un sistema de mando y control en condiciones de sobrevivir!» [\[915\]](#)

El JOHNNIAC dio paso al JOSS (JOHNNIAC Open Shop System, «Sistema JOHNNIAC de Libre Acceso»), uno de los primeros entornos informáticos en línea, multiusuario y de tiempo compartido; y una subdivisión de RAND, la División de Desarrollo de Sistemas, más tarde independizada como Corporación de Desarrollo de Sistemas, desarrolló los primeros códigos de millones de líneas para el sistema de defensa aérea SAGE, cuya herencia sobrevive en todos los grandes sistemas informáticos en tiempo real que hoy se utilizan. Muchos de los supuestos en los que se basa internet —desde su arquitectura de direccionamiento hasta su redundancia— se remontan a la decisión de RAND de comprar ochenta Selectrones de 256 bits, encargados en 1951 y entregados en 1952, por 800 dólares cada uno. «Hay otro artículo del que queríamos hablarle... que creo que será un motivo de satisfacción para usted y para Julian, aunque nos haga parecer inventores desviacionistas —le escribía John Williams, director de computación de RAND, a Von Neumann en octubre de 1951—. Hemos hecho un pedido de cien Selectrones a RCA.» [\[916\]](#) Una de las razones por las que RAND fue capaz de lograr tantas cosas durante la siguiente década fue la ventaja que obtuvo al evitar el impedimento de los recalcitrantes tubos Williams.

Nicholas Metrópolis murió en 1999 después de haber contribuido a mantener Los Alamos en la vanguardia de la informática científica desde 1943. «En lugar del modo en que funcionaba el Instituto de Princeton, donde Johnny tenía que conseguir el dinero y pelearse por él, en Los Álamos Nick tenía todo lo que necesitaba —explicó Harris Mayer—, y también seguía teniendo a Johnny Von Neumann.» [\[917\]](#) Después de la muerte de Von Neumann, fue Los Alamos, más que ningún otro lugar, el que mantuvo viva su agenda inacabada hasta que su importancia fue reconocida por otras instituciones en años posteriores.

Robert Richtmyer, que murió en 2002, se trasladó de Los Álamos al Instituto Courant de la Universidad de Nueva York en 1953, y a Boulder, Colorado, en 1964. «Tengo la impresión de que ahora las máquinas están siendo diseñadas sobre todo no por personas orientadas a la resolución de problemas, sino por personas que las consideran un fin en sí mismas —se quejaba a Nicholas Metrópolis en 1956—. La idea de John von Neumann de poner números e instrucciones en el mismo tipo de memoria fue un avance maravilloso, pero de ello no se sigue que los números y las instrucciones deban confundirse.» [\[918\]](#) A Richtmyer, como a Bigelow, le sorprendió que la computación se hubiera quedado en gran medida atascada allí donde Von Neumann la había dejado, con máquinas y códigos que aumentaban en potencia y complejidad, pero que no variaban en el modo esencial en que funcionaban los sistemas. «Un fenómeno curioso que ha acompañado al desarrollo del *software* es la tendencia del *hardware* a volverse dependiente de este», observaba en 1965. [\[919\]](#)

Von Neumann no volvió nunca a las matemáticas puras, y hasta su interés en la computación se vio mermado por sus deberes en la AEC. En el Congreso Internacional de Matemáticos celebrado en Amsterdam del 2 al 9 de septiembre de 1954, fue invitado a pronunciar el discurso inaugural, mencionado en el programa como un repaso a «Problemas matemáticos no resueltos» que actualizaría el famoso discurso parisiense de David Hilbert en

1900. Pero, en lugar de ello, la charla fue en gran parte un refrito de parte de los trabajos anteriores del propio Von Neumann. «La conferencia versó sobre anillos de operadores, un tema que era nuevo y que estaba de moda en la década de 1930 —recordaba Freeman Dyson—. Nada sobre problemas no resueltos. Nada sobre el futuro. Nada sobre ordenadores, el tema que sabíamos que era el preferido de Von Neumann. Alguien dijo en un tono de voz lo bastante alto como para que se oyera en toda la sala: “Aufgewärmte Suppe”, que en alemán significa “sopa recalentada”.» [\[920\]](#)

Después, contó Benoit Mandelbrot, «vi a Von Neumann abandonar la sala. Estaba absolutamente solo, absorto en sus pensamientos. Nadie le siguió, y salió a toda prisa hacia alguna parte, solo». Durante los días siguientes, Mandelbrot advirtió la presencia de «un anciano, que rondaba por donde estábamos nosotros, y le pregunté qué hacía». Era Michael Fekete, con quien Von Neumann había publicado su primer artículo en 1922, cuando tenía dieciocho años. Fekete, que se había convertido en el primer profesor de matemáticas de la Universidad Hebrea de Jerusalén, contestó que «Von Neumann escribió su primer artículo en colaboración conmigo. Así que quería que yo escribiera mi último artículo en colaboración con él». Pero Von Neumann estaba demasiado preocupado por su inminente nombramiento en la AEC, y aquella simetría nunca llegó a cumplirse. [\[921\]](#)

Más tarde, durante las sesiones, Von Neumann se reunió a solas con Veblen. Estuvieron hablando desde las diez de la noche del séptimo día hasta las dos de la mañana del octavo, en parte para tratar de las audiencias de Oppenheimer y, en parte, porque Von Neumann estaba a punto de anunciar públicamente que dejaba el IAS. «Veblen inició una diatriba contra L. L. S. [Strauss] y E. T. [Teller] como archienemigos, ya que E. T. era el hombre que había derribado a Me'lissende [Oppenheimer] —le informaba Von Neumann a Klári más tarde aquella mañana, usando su nombre en clave privado para referirse a Oppenheimer—. Yo le dije que consideraba a L. L. S.

un tirano, pero el mejor presidente que había tenido nunca la AEC, y a E. T. un idiota, pero un hombre con méritos y que es mi amigo personal.»

«Solo teníamos algunos desacuerdos anecdóticos», añadía Von Neumann. Y proseguía:

[Veblen] me dijo que pensaba que la dimisión de Me'lissende, forzada o voluntaria, sería muy mala para el Instituto... Yo no estaba dispuesto a decir que esta última, si se gestionaba adecuadamente, no sería lo mejor. También me contó que Me'lissende le había dicho previamente que discrepaba de mis opiniones en torno a una guerra «rápida» [preventiva], pero que bien podría tener razón... Yo le dije que pensaba que a estas alturas una guerra «rápida» era algo teórico, ya que en este momento, o en un plazo más bien corto, difícilmente sería «rápida». [\[922\]](#)

La reconciliación con Veblen resultó efímera, y Von Neumann se fue distanciando cada vez más de la comunidad matemática en la que había pasado su juventud.

Oswald Veblen murió en 1960 en su casa de verano, situada en la costa de Blue Hill Bay, en Maine, donde llevaba un estilo de vida más propio de su abuelo noruego que de un administrador del Instituto. En 1957, él y su esposa, Elizabeth, donaron las 33 hectáreas que poseían en las afueras de Princeton al condado de Mercer para crear la reserva natural de Herrontown Woods, «un lugar donde uno puede alejarse de los coches y, simplemente, caminar y sentarse». [\[923\]](#) Nunca resolvió sus diferencias con Von Neumann. «Incluso en sus últimos días, en su último mes de vida, solo hubo realmente un hombre, una persona, a la que Johnny quería ver —contó Klári—. Yo escribí a Veblen rogándole que viniera a verme, pero no vino.» [\[924\]](#)

A las 4.50 de la madrugada del 27 de mayo de 1953, durante la carrera final para desarrollar una bomba de hidrógeno transportable, los ingenieros que estaban ejecutando un problema termonuclear para la AEC se vieron repentinamente alarmados por un ruido extraño. «Un ratón subido al ventilador detrás de la rejilla del regulador ha hecho vibrar el ventilador;

resultado: ya no hay ratón y sí un !!! estruendo», registra el diario de la máquina (después de que alguien reemplazara por «!!!» una palabra más contundente). Debajo de la entrada del diario, uno de los ingenieros dibujó una lápida en la que se leía:

AQUÍ
YACE
EL RATÓN
NACIDO
?
MUERTO
4.50 AM
27/5/53

Otro ingeniero insertó «Marsten» en el texto de la lápida, de modo que este pasó a ser: AQUÍ YACE EL RATÓN MARSTEN (en inglés MARSTEN MOUSE), una alusión directa a Marston Morse, que durante mucho tiempo se había opuesto a la invasión del Instituto por los ingenieros. Morse, que creció en una granja de Maine, tenía sus motivos para oponerse al proyecto del ordenador, y merece tener la última palabra.

«En espíritu, nosotros, los matemáticos del Instituto, nos sentiríamos identificados con los humanistas», le escribía Morse a Aydelotte al comienzo de la Segunda Guerra Mundial. Durante todo el conflicto sirvió a tiempo completo en la Oficina del Jefe de Armamento del ejército, pero, una vez terminada la guerra, creía que el Instituto de Estudios Avanzados no era lugar para los expertos en el desarrollo de armamento. «Los matemáticos son los más libres y los más ferozmente individualistas de los humanistas», sostenía, y consideraba que los contratos del gobierno que sustentaban el proyecto del ordenador estaban en conflicto con ello. [\[925\]](#)

En octubre de 1950, cuando la construcción del ordenador estaba en su apogeo y el presupuesto de este superaba el presupuesto entero de la Escuela de Matemáticas en una proporción de más de tres a uno, Morse

acudió a la Universidad Kenyon, en Ohio, para dar una charla sobre «Las matemáticas y las humanidades» en el marco de un congreso en honor de Robert Frost. «A unos ciento cincuenta kilómetros al nordeste de Derry, New Hampshire, se hallan los lagos Belgrade, y del último y más largo de esos lagos fluye el [río] Messalonskee», empezó diciendo. Y prosiguió:

Yo nací en su valle [del Messalonskee], «al norte de Boston», en la tierra de Robert Frost. Allí estaban el «viento del deshielo», la «nieve», los «abedules» y el «muro» que había que reparar; nací en una desperdigada granja atravesada por un conjunto de arroyos que no iban a ninguna parte, y que luego iban a alguna. Cuarenta hectáreas de triángulos de fleo y trébol, y torcidos cuadriláteros de doradas gramíneas, agradables de contemplar para luego largarse a otra parte. A los diez años la peiné toda con el caballo y el rastrillo, mientras observaba el tráfico de ratones bajo los pies de mi montura.

«Uno no puede decidir entre Kronecker y Weierstrass por medio de un cálculo —continuó Morse, entrando en materia—. Hay un centro y una esencia final en matemáticas cuya perfecta belleza es racional, pero racional “en retrospectiva”.» Luego pasó a la cuestión de «la ciencia del frío papel de prensa, el núcleo lógico lleno de cráteres, la página que no se atreve a equivocarse, la monstruosidad de las máquinas, las grotescas deificaciones de hombres que han abandonado a Dios, los pequeños fragmentos de templos cuyos planos se han perdido y no son deseados, apuestas de poder del soborno de un poder secretamente ejercido y no comprendido».

«Esto es ciencia sin su penumbra o su resplandor, ciencia a partir del nacimiento, sin indicios de inmortalidad —concluía—. El científico creador vive en «la furia de la lógica», donde la razón es la criada y no la señora. Rechazo todos los monumentos que son fríamente legibles. Es en la hora que precede al amanecer cuando la ciencia retorna a la matriz, y, en la espera, lamento que no haya entre nosotros ningún signo ni lenguaje excepto los

espejos de la necesidad. Agradezco a los poetas que intuyeran el mundo nebuloso.» [19261](#)

El secretismo al que Morse tanto se oponía se ve hoy permanentemente afianzado. Hoy en día el gobierno estadounidense produce más información clasificada que no clasificada; y, dado que incluso el debate sobre la cantidad de información clasificada existente es información clasificada, puede que nunca sepamos cuánta materia oscura hay. El monumento a Von Neumann, sin embargo, ha resultado no ser tan fríamente legible como parecía a primera vista. Siempre habrá verdad más allá del alcance de las pruebas.

Alan Turing recibió la Orden del Imperio Británico en 1946, aunque, en virtud de la Ley de Secretos Oficiales, nunca pudo hablar abiertamente sobre su trabajo durante la guerra. Tras dejar el Laboratorio Nacional de Física en 1948, prosperó bajo los auspicios de Max Newman en la Universidad de Manchester, donde el núcleo del grupo de computación de Bletchley Park continuaba su trabajo desde el punto en que se había detenido su labor con el Colossus. Todo fue bien hasta 1952, cuando Turing fue condenado por «ultraje contra la moral pública» (por homosexualidad) y obligado a someterse a «terapia» con inyecciones de estrógenos, al tiempo que se le revocaba su acreditación de seguridad (y la posibilidad de viajar a Estados Unidos). Murió en su casa en Manchester, al parecer por envenenamiento con cianuro, el 7 de junio de 1954, dos semanas antes de cumplir los cuarenta y dos años. Sus nuevos y prometedores resultados sobre la base química de la morfogénesis quedaron inacabados, se encontró un frasco de cianuro de potasio en el laboratorio de su casa y al lado de su cuerpo había una manzana parcialmente mordida, todo lo cual hacía que las circunstancias de su muerte resultaran tan indecibles como el *Entscheidungsproblem* que tan importante había sido en su vida.

Con el paulatino levantamiento del secreto que rodeaba a la labor de los descifradores de códigos británicos en la Segunda Guerra Mundial, llegó el reconocimiento, tanto tiempo pospuesto, no solo de la importancia de la

contribución de Turing al esfuerzo bélico, sino también de las contribuciones que el Colossus, como encarnación física de los principios teóricos de Turing, había hecho al desarrollo del *hardware* y el *software* en la posguerra. El 10 de septiembre de 2009, «en nombre del gobierno británico y de todos aquellos que viven en libertad gracias al trabajo de Alan», el primer ministro británico, Gordon Brown, hizo pública una disculpa formal por el trato «inhumano» que recibiera Turing. «Lo sentimos. Usted merecía algo mucho mejor», fueron las palabras con las que concluyó.

Kurt Gödel murió en Princeton el 14 de enero de 1978; pesaba solo treinta y cuatro kilos, y su muerte se atribuyó a la desnutrición. Nunca llegó a ir a Hannover para buscar en los manuscritos de Leibniz las pistas que él creía que existían con respecto a cuál era el destino de la computación digital, el cálculo lógico y el lenguaje universal. El 20 de marzo de 1956 le escribió a Von Neumann en torno a una cuestión que «tendría consecuencias de la mayor importancia», pero nunca recibió respuesta (por entonces Von Neumann había renunciado a toda correspondencia). «Es fácil construir una máquina de Turing que nos permita decidir, para cada fórmula F del cálculo funcional restringido y cada número natural n , si F tiene una prueba de longitud n —escribía Gödel—. La pregunta es: ¿con qué rapidez se incrementa $j(n)$ [el número de pasos requeridos] para una máquina óptima?» La respuesta a esta pregunta, todavía sin resolver, determinaría si, «pese a la insolubilidad del *Entscheidungsproblem* —en palabras de Gödel—, el pensamiento de un matemático en el caso de las preguntas con respuestas sí o no podría ser reemplazado totalmente por máquinas». [\[927\]](#)

Nils Barricelli murió en Oslo en 1993. Había dejado la genética viral, pero seguía trabajando en el perfeccionamiento de un nuevo lenguaje matemático, el «B-matemática», que, como el *calculus ratiocinator* de Leibniz, estableciera la verdad y revelara la falsedad. Hablado solo por algunos de sus alumnos de posgrado y ejecutado en un ordenador DEC System-10, el B-matemática no tardaría en extinguirse. Sus experimentos

sobre la evolución numérica también se evaporaron sin dejar apenas rastro, lo que haría que muchas de sus ideas fueran redescubiertas por investigadores que no sabían absolutamente nada de su anterior trabajo. Sin embargo, el universo de Barricelli es nuestro universo actual. Sus primitivos organismos digitales unidimensionales —que se replicaban, competían, se hibridaban y se asociaban simbióticamente en una matriz de 5 kilobytes— fueron los antepasados de las secuencias de código —de muchos megabytes, pero todavía unidimensionales— que se replican, compiten, se hibridan y se asocian simbióticamente en el ilimitado universo digital actual. A lo que nosotros llamamos hoy «aplicaciones» Barricelli lo llamaría «simbioorganismos numéricos», y, tal como él predijo, su evolución avanza por cruzamiento, cooperación simbiótica y apropiación en masa de bases de códigos, y no por mutación aleatoria. Comportándose como «sociedades recolectoras» de insectos sociales, obtienen dinero (e inteligencia) que llevarse a su nido colectivo.

Julian Bigelow murió en Princeton el 17 de febrero de 2003. Seis semanas después, la Escuela de Ciencias Naturales organizó una recepción en su honor en su nuevo edificio, Bloomberg Hall, precedida de un funeral cuáquero celebrado en el templo de Stony Brook. El templo, amueblado con sencillos bancos de madera y sin apenas cambios desde 1726, se llenó. En las reuniones cuáqueras el silencio es una forma de comunicación; una excepción a la regla de Bigelow de que la ausencia de señal nunca debería interpretarse como una señal.

Una enfermera que había estado de servicio durante la hospitalización de Bigelow fue la primera que rompió el silencio. «Aunque estaba muy cansado, abrió los ojos, sus grandes ojos azules, y muchas enfermeras dijeron: “¡Mirad sus ojos! A pesar de estar tan enfermo, ¡mirad la expresión que tienen!”», explicó. ^[928] «A Julian nunca se le reconoció su verdadero valor; se le apartó en un rincón —dijo Freeman Dyson—. Pero nunca oí una palabra de queja. Ahora es tarde, pero todavía no demasiado tarde para pedir

perdón.» Hubo comentarios sobre todas las cosas que Bigelow había sido capaz de arreglar, todas las cosas que había sido incapaz de terminar y todas las cosas, sobre todo neumáticos usados, que había sido incapaz de tirar. «No había ningún problema que no se pudiera solucionar —explicó Ted Merkelson, el hijastro de Julian, que habló el último—. Era solo cuestión de entenderlo y de tomarse un tiempo para hacerlo. Y creo que todavía podía resolver cualquier problema. Solo se le acabó el tiempo.» [19291](#)

Terminado el funeral, la familia y los amigos de Julian Bigelow salieron a la brillante luz del sol de marzo y siguieron la vieja línea de tranvía Princeton-Trenton, entre los bosques y el antiguo campo de batalla, de vuelta al Instituto, reconstruyendo así la ruta que siguiera la columna de Sullivan del ejército de Washington en 1777, pasando junto a la granja de Clarke, donde se dejó al general Mercer, mortalmente herido, tras la retirada británica. En Bloomberg Hall —ahora sede de los físicos y astrónomos del Instituto, de un clúster de ordenadores IBM de 96 nodos (reemplazado por un clúster de 512 núcleos en 2009) y, por último, de un puñado de biólogos teóricos— se congregó un pequeño grupo de personas que habían acudido a rendir el último homenaje a un hombre que había nacido a menos de setenta kilómetros de Stony Brook.

Los ingenieros fueron desterrados del Instituto, pero los ordenadores volvieron. Actualmente hay en uso más de novecientos de ellos (con doscientos terabytes de almacenamiento) en todo el IAS, y en el antiguo edificio del ECP, ahora compartido por el parvulario Crossroads, la Oficina Comercial del Instituto y un gimnasio, se exhibe una placa conmemorativa en honor de Von Neumann instalada por el gobierno húngaro en 2003. Incluso la Escuela de Ciencias Sociales está cada vez más consagrada al estudio de los efectos que el experimento de Von Neumann está teniendo en el mundo.

La despensa del sótano de Fuld Hall, donde se instalaron los primeros bancos de trabajo en 1946, era hasta hace poco la sala que albergaba al servidor

principal del Instituto, conectado al mundo exterior por unos 504 cables de fibra óptica enrutados por un conmutador de 45 megabits por segundo. En lo que viene a representar una inversión de los intentos de Nils Barricelli de incubar organismos numéricos capaces de autopropagarse, hoy un sistema especializado de control de red supervisa todo el tráfico, tratando de mantener fuera el interminable flujo de organismos numéricos capaces de autopropagarse que ahora intentan entrar. «Los virus se están volviendo tan inteligentes que realmente es una carrera armamentística —explicaba Rush Taggart, el administrador del sistema, en 2005—. Esto controla el tráfico sobre la marcha. Las máquinas vigiladas por máquinas.» [\[930\]](#)

Esa carrera armamentística que se está librando en el sótano de Fuld Hall (y ahora en Bloomberg Hall) jamás se resolverá en favor de lo absolutamente determinista por encima de lo probabilístico y lo incompleto. La jungla, por más que sea solo una jungla digital, vencerá siempre. Hay códigos, y máquinas, que pueden hacer casi todo aquello de lo que pueda darse una descripción exacta; pero nunca será posible determinar, simplemente examinando un código, qué es lo que hará ese código. No se puede hacer que ningún cortafuego que admita siquiera la aritmética más sencilla resulte completo. El universo digital siempre dejará espacio a más misterios que los que hasta Robert Frost podía soñar. El mundo nebuloso persiste.

La matriz de 32 por 32 por 40 bits construida al final de Olden Lañe se inicializó con instrucciones codificadas, y luego se le suministró un número de 10 bits con órdenes de ir a una determinada posición y realizar la instrucción siguiente —que podía haber sido una instrucción para modificar las instrucciones existentes— que encontrara en esa dirección. Incluso con un principio tan finito, no había modo alguno de predecir el resultado final.

En noviembre de 2000 apareció una caja de cartón en el sótano del Edificio Oeste del Instituto de Estudios Avanzados, donde su presencia había pasado inadvertida. El olor a correas de distribución quemadas todavía impregnaba la capa de polvo negro y grasiento que se había depositado sobre una

colección de manuales de mantenimiento de teletipos de la Segunda Guerra Mundial, que, por alguna razón, no habían sido tirados cuando el dispositivo de entrada y salida de datos del MANIAC se cambió de la cinta de papel a las tarjetas perforadas. Debajo de estos había una cajita de tarjetas de procesamiento IBM, acompañadas de una nota escrita a lápiz en media hoja de papel rayado, desintegrado en varios fragmentos, que identificaba las tarjetas como «Código de tambor de Barricelli», con instrucciones acerca de cómo se debía cargar y ejecutar (en el tambor magnético de alta velocidad de 2.048 palabras que se había añadido al ordenador en 1953). Junto con el montón de tarjetas había tres hojas de papel de cuentas, llenas de un denso código hexadecimal escrito a mano donde se especificaban las leyes naturales que gobernaban el universo fosilizado que se había conservado, en estado letárgico, en las tarjetas. Ahí estaban los manuscritos del mar Muerto. La nota que acompañaba a las tarjetas (dirigida al «Señor Barricelli» y firmada «TWL») concluye con la siguiente afirmación: «Debe de haber algo acerca de este código que usted no ha explicado todavía».

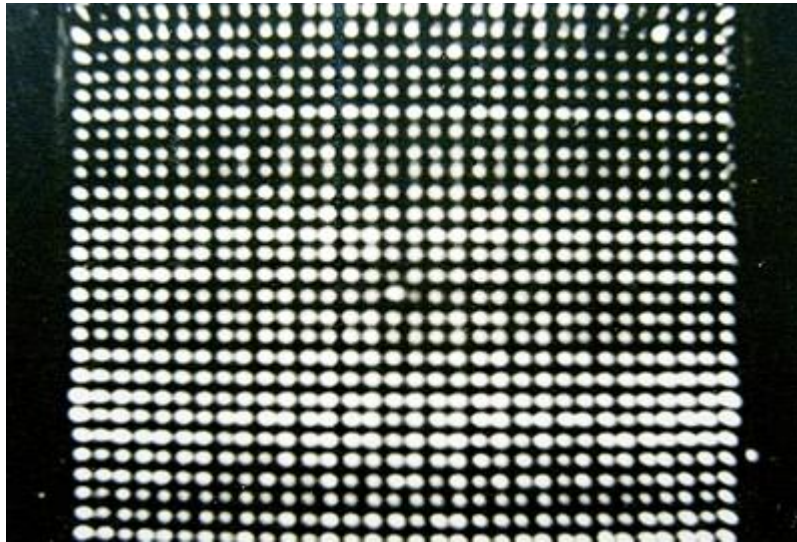
* * * *

Abreviaturas de las fuentes documentales

- [AMT] Papeles de Alan M. Turing, Archivos del King's College, Cambridge, Reino Unido.
- [FJD] Papeles de Freeman J. Dyson, cortesía de Freeman J. Dyson.
- [FR] Archivos de la Fundación Rockefeller, Nueva York.
- [GBD] Colecciones del autor (George B. Dyson).
- [IAS] Centro de Documentación Shelby White y León Levy, Instituto de Estudios Avanzados (IAS), Princeton (NJ).
- [IAS-BS] Carpetas de Beatrice Stern, Centro de Documentación Shelby White y León Levy, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton (NJ).
- [ICB] Instituto Charles Babbage, Universidad de Minnesota, Minneapolis (MN).
- [JHB] Papeles de Julian H. Bigelow, cortesía de la familia Bigelow.
- [KVN] Papeles de Klári von Neumann, cortesía de Marina Von Neumann Whitman.
- [LA] Laboratorio Nacional de Los Alamos, Los Alamos (NM).
- [NARA] Administración Nacional de Archivos y Documentos de Estados Unidos (NARA), College Park (MD).
- [OVBC] Papeles de Oswald Veblen, Biblioteca del Congreso, Washington.
- [PM] Archivo documental de Priscilla McMillan, en <http://h-bomb-book.com/research/primarysource.html>.
- [RCA] Biblioteca y Archivos de David Sarnoff, RCA, cortesía de Alex Magoun.
- [SFU] Papeles de Stanislaw y Françoise Ulam, cortesía de la familia Ulam.
- [SUAPS] Papeles de Stanislaw Ulam, Sociedad Filosófica Estadounidense (APS), Filadelfia (PA).
- [VNBC] Papeles de John von Neumann, Biblioteca del Congreso, Washington.

* * * *

Fotos



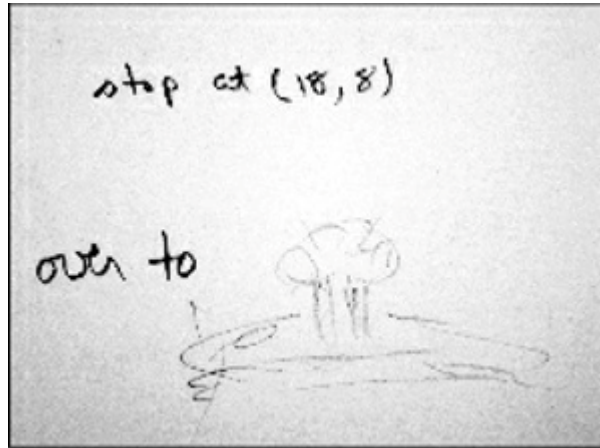
El universo digital en 1953. En esta fotografía diagnóstica incluida en los diarios de mantenimiento del Proyecto de Computador Electrónico del Instituto de Estudios Avanzados, realizada el 11 de febrero de 1953, puede verse una matriz de 32 por 32 puntos cargados eléctricamente (como memoria de trabajo, no como pantalla) en la cara de un tubo de almacenamiento de rayos catódicos Williams (fase número 36). (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)

Order *Set of word (word) to 2 sides, each side = Command*

Address in 41	Address in 40	Address in 39	Address in 38	Address in 37	Address in 36	Address in 35	Address in 34	Address in 33	Address in 32
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2
(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2	(1-2) 2
17		17							

17

En el principio fue la línea de comandos. «Órdenes: Sea una palabra (40 bd) 2 órdenes, cada orden = $C(D)$ = Comando (1-10, 21-30) • Dirección (11-20, 31-40)», reza la primera línea de esta nota sin fecha, guardada por Julian Bigelow; por el uso de la abreviatura bd por «dígito binario» (en inglés binary digit), parece claro que fue escrita a finales de 1945 o principios de 1946, antes de la adopción del término bit. (Familia Bigelow)



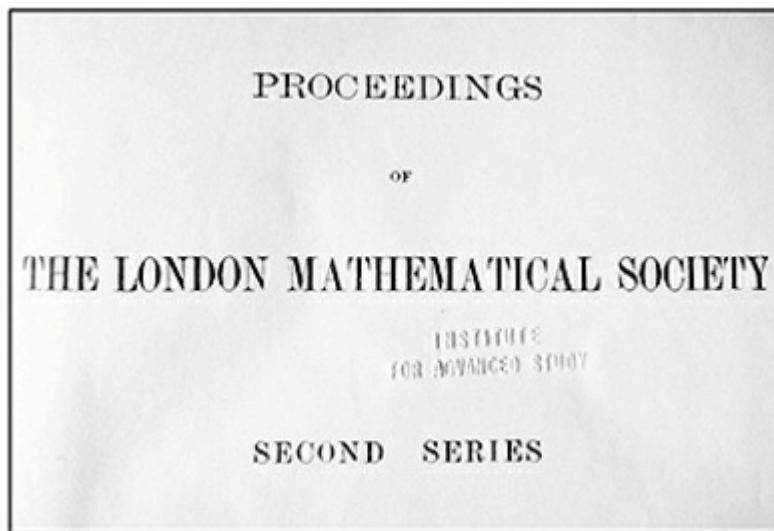
En el Diario Operativo de Aritmética General del IAS, en su entrada correspondiente al 4 de marzo de 1953, aparece una nota seguida de un boceto, en relación con un código de diseño de armas termonucleares, justo después de que se ejecutara por primera vez el código de evolución numérica de Nils Barricelli (terminando en la posición de memoria 18,8). (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Alan Turing con cinco años. (Archivo del King's College, Cambridge, cortesía de la familia Turing)

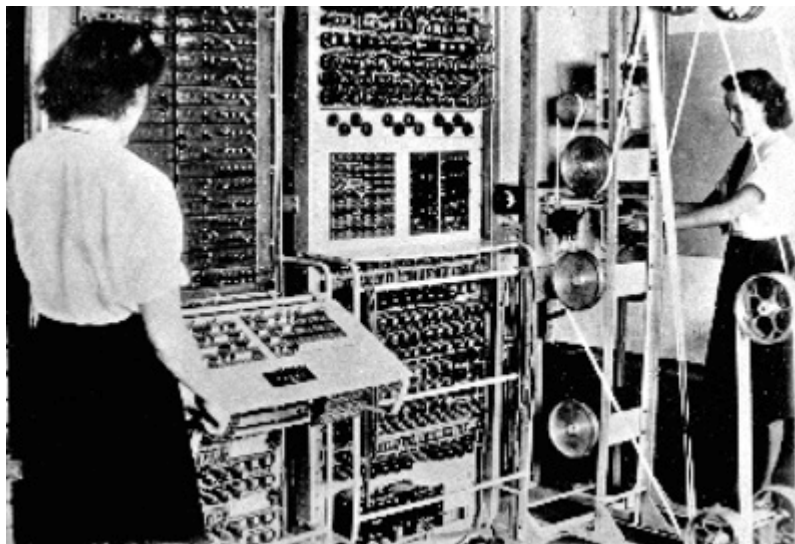
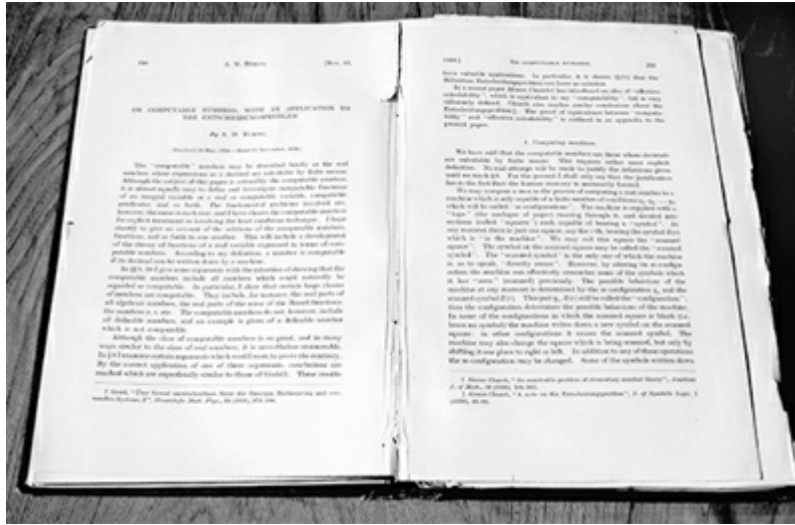


John von Neumann con siete años. (Nicholas Vonneumann y Marina von Neumann Whitman)



«Sobre números computables», de Alan Turing, donde este introducía la idea de una máquina computadora lógica universal, se publicó en Proceedings of the London Mathematical Society («Actas de la Sociedad Matemática de Londres») poco después de la llegada de Turing a Princeton en 1936. El

ejemplar del Instituto de Estudios Avanzados sería consultado con tanta frecuencia que llegaría a desgastarse. (Instituto de Estudios Avanzados)

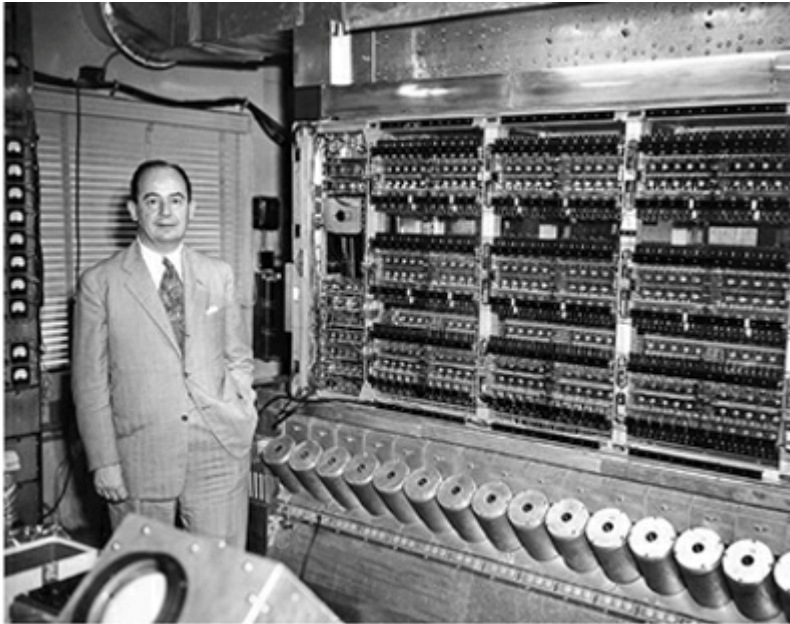


El Colossus de Bletchley Park en 1943. Para ayudar a descifrar las telecomunicaciones enemigas digitalmente cifradas durante la Segunda Guerra Mundial, los criptoanalistas británicos construyeron una serie de máquinas computadoras lógicas versátiles, aunque todavía no universales. Bajo la supervisión de Dorothy Du Boisson y Elsie Booker, se compara una secuencia codificada almacenada en una memoria interna de tubo de vacío con una secuencia almacenada en una cinta de papel perforado externa, explorándolas a alta velocidad por medio de cabezales de lectura

fotoeléctricos. (Biblioteca Gráfica de los Archivos Nacionales, Kew, Reino Unido)



Alan Turing (el primero por la izquierda) en 1946. Tras la guerra, Turing empezó a diseñar la Máquina de Computación Automática (ACE), cuya construcción se inició en el Laboratorio Nacional de Física de Londres, mientras Von Neumann hacía lo propio con el Integrador y Computador Matemático y Numérico (MANIAC), cuya construcción se inició en el IAS. El diseño de Turing se vio influenciado por la aplicación práctica de Von Neumann, y esta se vio influenciada por las ideas de Turing. (Biblioteca del King's College, Cambridge)



John von Neumann y el MANIAC en 1952. A la altura de su cintura pueden verse 12 de los 40 tubos de memoria de rayos catódicos Williams, cada uno de los cuales almacenaba 1.024 bits, dando una capacidad total de 5 kilobytes (40.960 bits). En primer plano se aprecia la 41.ª fase de monitorización, un tubo de rayos catódicos de 18 cm de diámetro que permitía observar el contenido de la memoria mientras no se empleaba. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, IAS; foto de Alan Richards)



«El camino de York a las cascadas del Delaware», anteriormente un sendero pedestre de los lenni-lenape, que atravesaba la «cintura» de Nueva Jersey entre los estuarios del Raritan y el Delaware, con la taberna de Greenland en su punto medio. La línea diagonal señala la frontera entre la Nueva Jersey oriental y la occidental, decidida en una reunión celebrada en la taberna en 1683. El asentamiento cuáquero de Stony Brook y la futura ciudad de Princeton se hallan cerca del centro de la ilustración, justo debajo de la f de from, en este detalle de A new mapp of East and West New Jarsey: being an exact survey taken by Mr. John Worlidge , Londres, 1706. (Biblioteca del Congreso de Estados Unidos, División de Geografía y Cartografía)



Fuld Hall, sede central del Instituto de Estudios Avanzados, se construyó en 1939 en Olden Farm, Princeton (Nueva Jersey), en unas tierras que solo habían cambiado de manos dos veces desde que en 1690 las comprara William Penn. (Abraham Flexner, I Remember, Simon & Schuster, Nueva York, 1940)



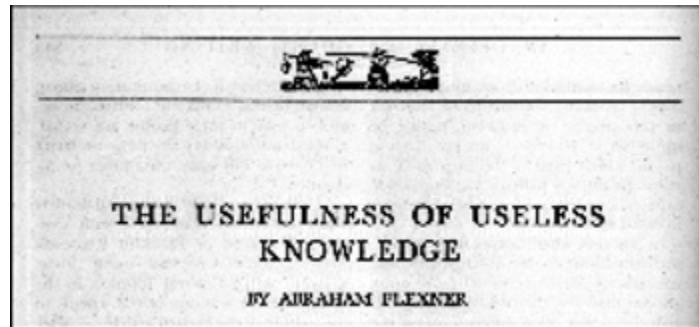
Oswald Veblen, sobrino de Thorstein Veblen (que acuñó la expresión «consumo conspicuo» en su obra de 1899 Teoría de la clase ociosa), era un experto en topología, geometría y balística, además de amante de la naturaleza, que, siendo estudiante, ganó un premio de tiro al blanco y otro de matemáticas. En 1932 fue el primer profesor contratado por el Instituto de Estudios Avanzados; también había sido quien en 1923 había sugerido la idea de un instituto matemático autónomo a Simon Flexner, de la Fundación Rockefeller. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados; foto de Wilhelm J. E. Blaschke, Oslo, 1936)



Norbert Wiener (el primero por la derecha), aquí con un grupo de matemáticos del ejército estadounidense en el Campo de Pruebas de Aberdeen, en 1918, trabajó en balística junto con Oswald Veblen durante la Primera Guerra Mundial y fundó la ciencia de la cibernética, basada en su trabajo sobre el control del fuego antiaéreo realizado en colaboración con Julian Bigelow durante la Segunda Guerra Mundial. (Museo del MIT)



Abraham Flexner, que empezó su carrera como profesor de secundaria en Louisville, Kentucky, concibió el Instituto de Estudios Avanzados como un refugio frente a las «aburridas y cada vez más frecuentes reuniones de comités, grupos o el propio cuerpo docente. Una vez iniciada, esta tendencia hacia la organización y la consulta formal no podía detenerse». (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Poco después de estallar la guerra en Europa, en octubre de 1939, Abraham Flexner anunció en la revista Harper's Magazine que, «entre las consecuencias más asombrosas e inmediatas de la intolerancia extranjera creo que puedo mencionar con justicia el rápido desarrollo del Instituto de Estudios Avanzados... un paraíso para los eruditos que, como los poetas y los músicos, se han ganado el derecho a hacer lo que les plazca». (Harper's Magazine)



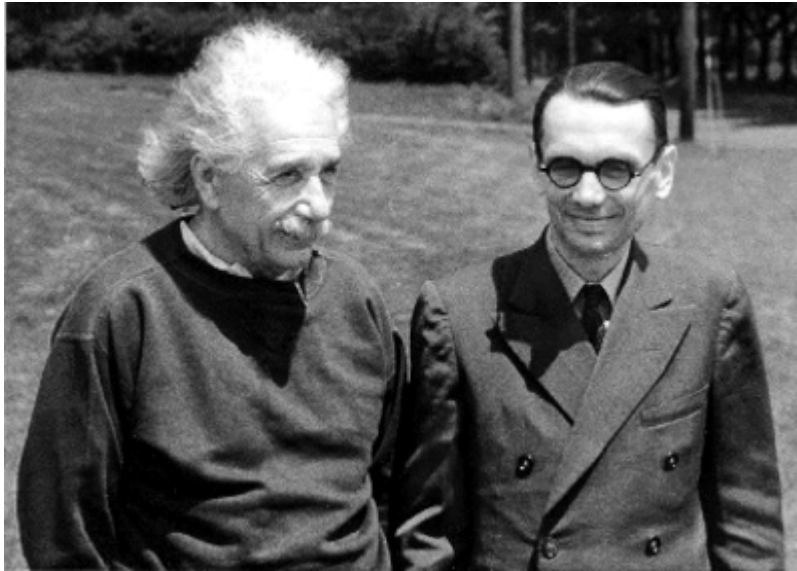
El monumento al fundador, en la entrada de la reserva natural de los bosques del IAS, de 240 hectáreas. Los Bamberger, una familia de comerciantes de artículos de confección de Newark que financiaron tanto el experimento docente de Flexner como las adquisiciones de tierras de Veblen, instaron a que se dedicara menos atención a las tierras y los edificios, y más «a la causa de la justicia social, que llevamos en lo más profundo del corazón». (Cortesía del autor)



Escuela de Matemáticas del IAS, reunión en Fuld Hall, en la década de 1940. De izquierda a derecha: James Alexander, Marston Morse, Albert Einstein, Frank Aydelotte, Hermann Weyl y Oswald Veblen (ataviado, como siempre, con ropa de montaña). La ausencia de Von Neumann probablemente se debiera a su trabajo como consultor durante la guerra. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Oskar Morgenstern y John von Neumann, coautores de Teoría de juegos y comportamiento económico, en Spring Lake, Nueva Jersey (la playa más cercana a Princeton), en 1946. «Solíamos ir a Sea Girt —recordaba Morgenstern en John von Neumann, un documental de la Asociación Estadounidense de Matemáticas—. No para nadar, porque a él no le gustaba esa clase de ejercicio, sino para caminar por la playa. Manteníamos conversaciones muy serias, y en cierto modo aquellos paseos cristalizaban lo que hablábamos. Luego volvíamos a casa y lo poníamos por escrito.» (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados; foto cortesía de Dorothy Morgenstern)



Albert Einstein y Kurt Gödel llegaron al Instituto de Estudios Avanzados en 1933, durante su primer año de funcionamiento. Los últimos años de Gödel estuvieron dominados por dos intereses: el trabajo de G. W. Leibniz, que Gödel creía que contenía ideas ocultas sobre la naturaleza de la computación digital, y una solución poco ortodoxa a las ecuaciones de Einstein basada en un universo en rotación, que Gödel, con el estímulo de Einstein, había deducido por sí mismo. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados; foto de Oskar Morgenstern)



John von Neumann haciendo ejercicios matemáticos a la edad de once años, en 1915, bajo la atenta mirada de su prima Katalin (Lili) Alcsuti. «Ella admiraba enormemente, aunque no entendía, lo que escribía John —explicó

Nicholas Vonneumann—. Él utilizaba signos tales como la letra sigma y cosas así.» (Nicholas Vonneumann y Marina von Neumann Whitman)



John von Neumann (arriba a la izquierda, sentado en el cañón) visitando una posición de artillería del ejército austrohúngaro, c. 1915, con su madre, Margit (de soltera Kann), su padre, Max von Neumann, y, bajando en diagonal por la cureña de izquierda a derecha, su hermano Michael, un niño no identificado, su prima Lili Alcsuti y su hermano Nicholas (vestido de niña). (Nicholas Vonneumann y Marina von Neumann Whitman)



John von Neumann (el primero por la izquierda) en un desayuno en Budapest, a principios de la década de 1930, tras la boda de su prima Katalin (Lili) Alcsuti con Balazs Pastory. Sentados, de izquierda a derecha: John, los recién casados, Mariette Kövesi von Neumann, los Pastory, Michael von Neumann, Lily Kann Alcsuti y Agost Alcsuti. (Nicholas Vonneumann y Marina von Neumann Whitman)



Tarjeta de identificación de John von Neumann emitida por la Universidad de Berlín, de la que dimitió, como protesta contra la purga nazi, en 1933. «Los trenes alemanes que parten de Dresde están llenos de soldados —informaba en una visita cinco años después—. He observado Berlín con mucha

atención. Puede que sea la última vez.» (Papeles de Von Neumann, Library of Congress; cortesía de Marina von Neumann Whitman)



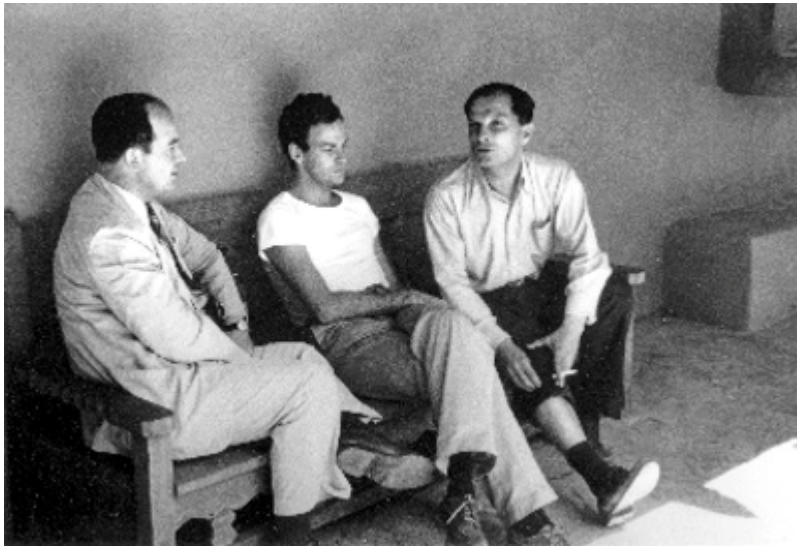
«Parecía siempre dispuesto a ir donde estuviera la acción —dijo Françoise Ulam de John von Neumann—. ¡Aunque era una persona nada atlética y nada aficionada al aire libre, a veces podía sorprenderte!» Según Atle Selberg: «Se le daba muy bien hacer cálculos. Por ejemplo, podía saber cuántas perlas había en el collar de una señora con solo mirarla». (Papeles de Stanislaw Ulam, Sociedad Filosófica Estadounidense)



Princeton en la década de 1930. De izquierda a derecha: Angela (Turinsky) Robertson, Mariette (Kővesi) von Neumann, Eugene Wigner, Amelia Frank

Wigner, John von Neumann, Edward Teller y, en el suelo, Howard Percy (Bob) Robertson (por entonces le enseñaba relatividad a Alan Turing). Con la excepción de los físicos H. P. Robertson (de Hoquiam, Washington) y Amelia Frank (de Madison, Wisconsin), los participantes en esta reunión, probablemente celebrada durante las vacaciones de invierno del curso 1936-1937, eran todos de Budapest. «Tenía la capacidad, en una fiesta, de alardear bebiendo más que nadie —afirmó Marina von Neumann de su padre en una entrevista del 3 de mayo de 2010—. Pero nunca lo vi beber solo.»

(Marina von Neumann Whitman)



John von Neumann, Richard Feynman y Stanislaw Ulam, en el alojamiento del parque del Monumento Nacional Bandelier (cerca de Los Álamos), en 1949. «Solíamos caminar por los cañones... y Von Neumann me dio una idea interesante: no tienes que responsabilizarte del mundo en el que estás —explicó Feynman—. De modo que, como consecuencia del consejo de Von Neumann, he desarrollado un sentimiento muy fuerte de irresponsabilidad social.» (Foto de Nicholas Metropolis; cortesía de Claire y Françoise Ulam)

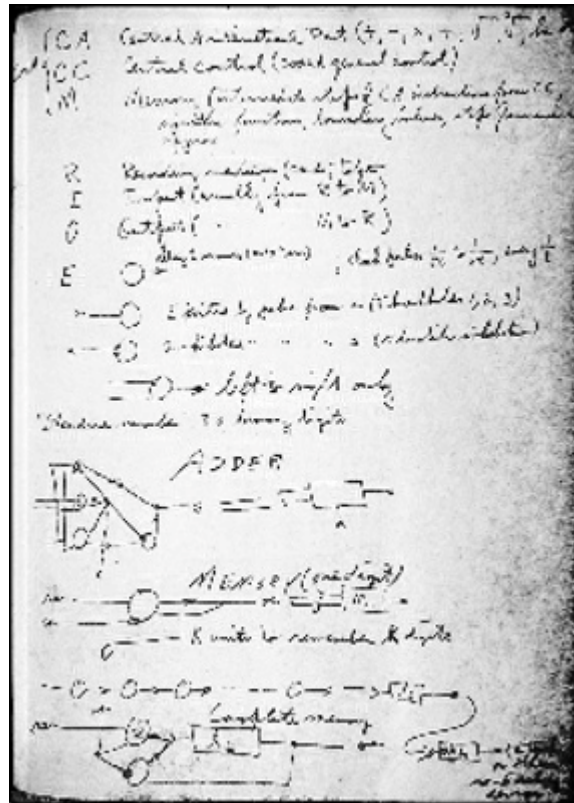


Prueba nuclear Trinidad (20 kilotones), en el Polígono de Tiro de Alamogordo, Campo de Pruebas de White Sands, Nuevo México, doce segundos después de la detonación, realizada a las 5.29 el 16 de julio de 1945. La implosión causada por un explosivo de gran potencia, que a su vez provocó la explosión alimentada por plutonio, fue diseñada utilizando la teoría de las ondas de choque reflejadas de Von Neumann y condujo directamente al desarrollo de la bomba de hidrógeno. (Ejército de Estados Unidos/Laboratorio Nacional de Los Álamos/NARA, Grupo de Registros n.º

434)



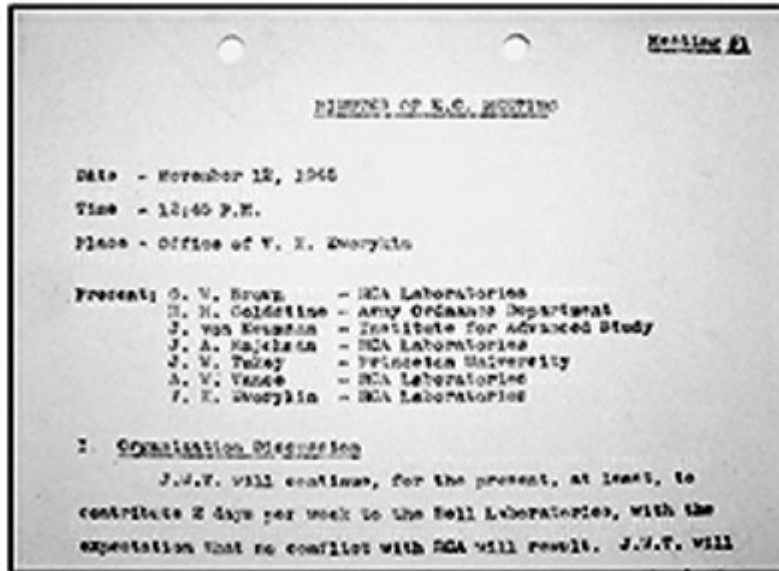
La existencia del ENIAC (Integrador y Computador Electrónico Numérico) del ejército estadounidense se reveló públicamente en la Escuela Moore de la Universidad de Pensilvania el 16 de febrero de 1946. Según Von Neumann, fue «una aventura absolutamente pionera, el primer computador electrónico digital de uso general totalmente automático». De izquierda a derecha: Homer Spence, Presper Eckert (manipulando la tabla de función), John Mauchly, Betty Jean Jennings Bartik, Herman Goldstine y Ruth Licterman (con el equipamiento de entrada y salida de datos a base de tarjetas perforadas en el extremo derecho). (Archivos de la Universidad de Pensilvania)



El «Primer borrador de informe sobre el EDVAC», publicado por la Escuela Moore el 30 de junio de 1945, establecía lo que se conocería como la «arquitectura de Von Neumann», caracterizada por la distinción entre una unidad aritmética central, un control central, una memoria, un dispositivo de entrada, un dispositivo de salida y un medio de grabación, identificado aquí como «tarjetas, cinta». Se especificaba un «número estándar» (que pronto pasaría a denominarse una «palabra») como 30 bits. (Bibliotecas de la Universidad de Princeton)



Vladimir Zworykin (en el centro), que aparece cazando faisanes en 1978 cerca de Amwell, Nueva Jersey, con Bogdan Maglich (a la derecha), y un ingeniero de la RCA no identificado Ç(a la izquierda), empezó a trabajar en el problema de la televisión en Rusia, con Boris Rosing, en 1906, y, tras liderar el desarrollo de la televisión comercial en Estados Unidos por la RCA, en 1941 se convirtió en el director de los laboratorios de la empresa en Princeton. (Bogdan Maglich)



La primera reunión del Proyecto de Computador Electrónico del Instituto de Estudios Avanzados se celebró el 12 de noviembre de 1945, en el despacho de Vladimir Zworykin en la RCA. «Las palabras que codifican las órdenes se manejan en la memoria como números», se anunció. Esa mezcla de datos e instrucciones rompía la distinción entre números que significan cosas y números que hacen cosas, permitiendo al código apoderarse del mundo. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Bernetta Miller, junto a su monoplaza Moisant-Blériot en 1912, fue la quinta mujer en obtener la licencia de piloto en Estados Unidos y empezó a trabajar

como secretaria del Instituto de Estudios Avanzados en 1941. (Cortesía de Joseph Felsenstein; fotógrafo desconocido)



Akrevoe Kondopria (hoy Emmanouilides), secretaria de Herman Goldstine en el proyecto del ENIAC en Filadelfia, fue invitada por Goldstine y Von Neumann a unirse al Proyecto de Computador Electrónico del IAS, y se incorporó el 3 de junio de 1946. Kondopria, que por entonces tenía diecisiete años, permanecería vinculada al proyecto hasta 1949. (Fotografía de Willis Ware, c. 1947, cortesía de Akrevoe Emmanouilides)



De izquierda a derecha: Norman Phillips (meteorología), Herman Goldstine (director adjunto) y Gerald Estrin (ingeniería), en la sala del MANIAC, en 1952. Los teóricos del Instituto de Estudios Avanzados tenían sentimientos encontrados con respecto a la incorporación de meteorólogos e ingenieros.

En palabras de Julian Bigelow, quienes «tenían que pensar en lo que intentaban hacer» no acogieron bien la llegada de quienes «parecían saber lo que intentaban hacer». (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



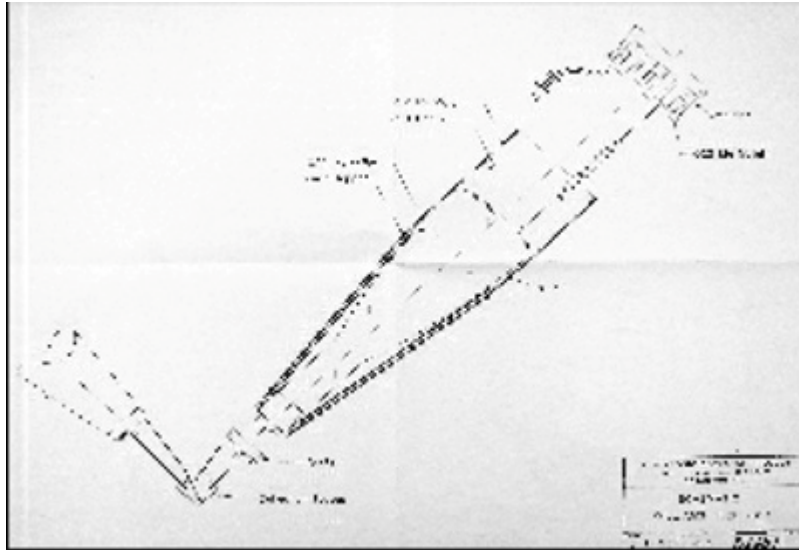
El Selectrón, o Tubo de Almacenamiento Electrostático Selectivo de la RCA, inventado por Jan Rajchman, prometía una matriz de almacenamiento electrostático plenamente digital de 4.096 bits en un solo tubo de vacío. Entre sus aplicaciones se incluía la predicción meteorológica numérica, tal como retrata este anuncio publicado en febrero de 1950 en National Geographic, así como el almacenamiento y la recuperación de archivos a velocidades de vértigo. (RCA/National Geographic)



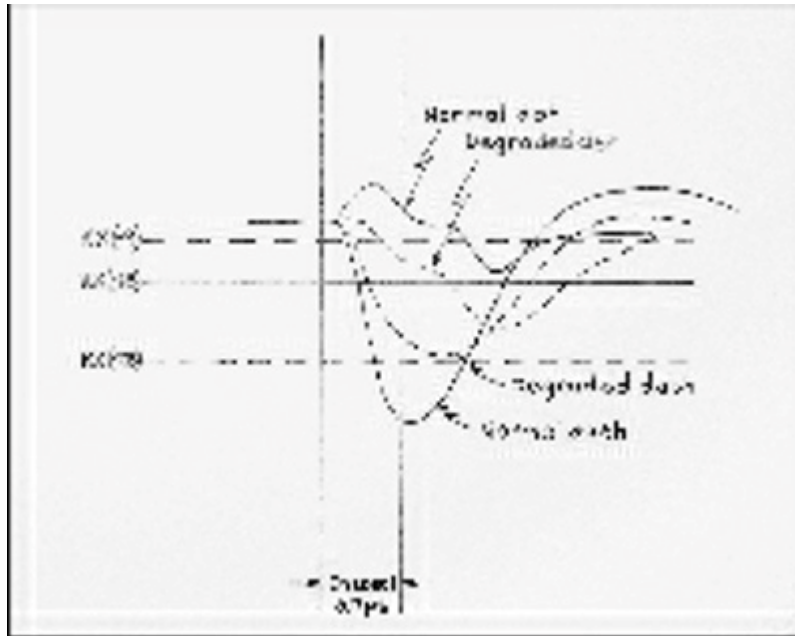
Tom Kilburn (izquierda) y Frederic C. Williams (derecha) a los mandos de la Máquina Experimental a Pequeña Escala (SSEM) de la Universidad de Manchester, en 1948. El 21 de junio de 1948, el que sería el primer computador digital electrónico de programa almacenado que entró en funcionamiento, apodado el Bebé de Manchester, ejecutó un programa de 17 líneas (una búsqueda de números primos de Mersenne) para poner a prueba su memoria de tubos de rayos catódicos de 1.024 bits. (Departamento de Informática, Universidad de Manchester)



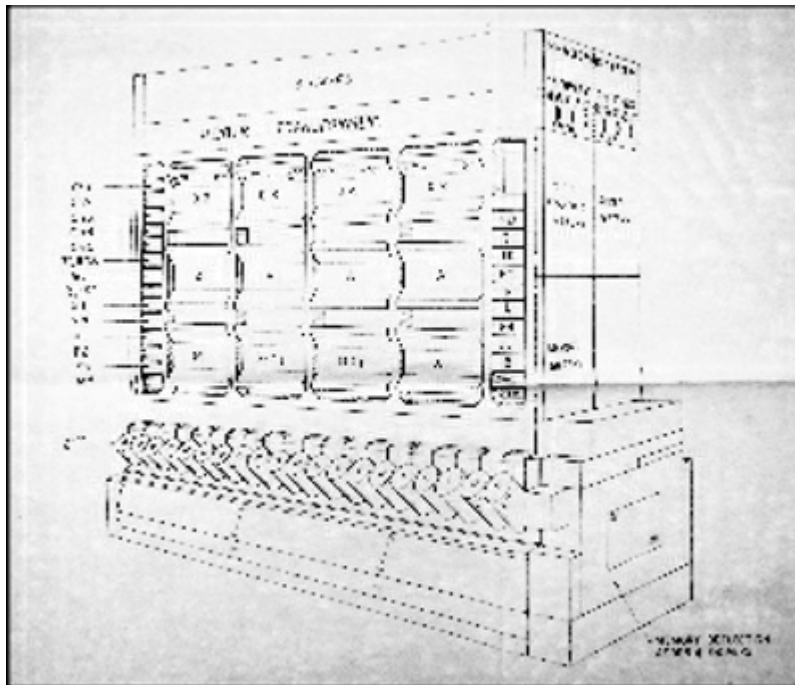
James Pomerene con un tubo de almacenamiento electrostático Williams. Al ver que el Selectrón de la RCA no se materializaba según el calendario previsto, el equipo del IAS, dirigido por James Pomerene, adaptó tubos osciloscopios estándar de rayos cátodos de 13 centímetros, convirtiéndolos en una memoria de acceso aleatorio propiamente dicha, a partir de las ideas de Williams y Kilburn. El obstáculo para lograr un almacenamiento digital de alta velocidad no era tanto un problema de memoria como un problema de conmutación, que se resolvería utilizando la deflexión analógica biaxial de un haz de electrones como un conmutador de 1.024 posiciones. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



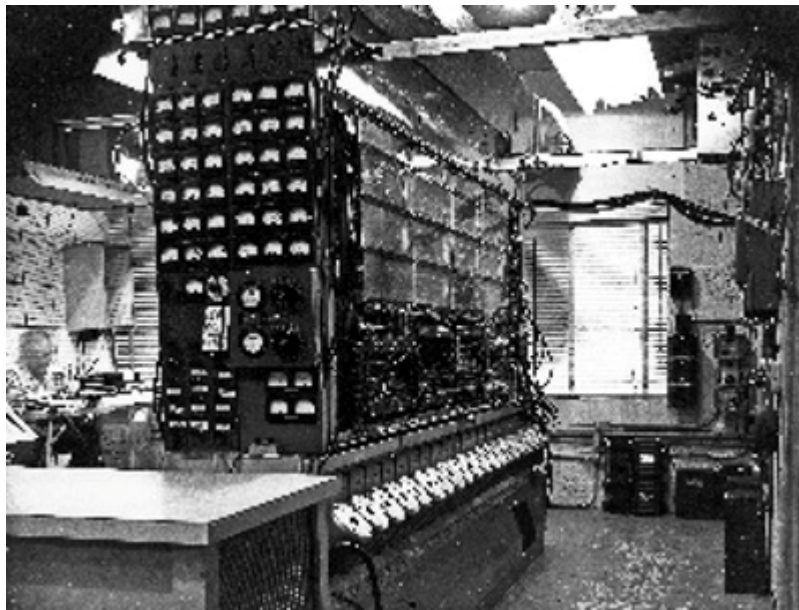
Tubo de memoria Williams, representación esquemática en secciones, mostrando la protección electromagnética, la conexión de los circuitos de deflexión y un amplificador de alta ganancia integrado en la cara del tubo individual. Cuando se dirigía el haz de electrones a una de las 1.024 posiciones de la superficie interior del tubo y se daba un «tirón», se producía una débil señal eléctrica en la pantalla de alambre anexa a la cara exterior del tubo. Luego se «discriminaba» el carácter de dicha señal, amplificada 30.000 veces, para indicar si el estado de carga en aquella posición representaba un cero o un uno. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



La distinción entre un punto (0) y un guión (1) debía ser determinada en 0,7 microsegundos, «inspeccionando» el carácter del débil impulso secundario generado cuando una posición dada era «interrogada» por el haz de electrones. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Parte sumadora del ordenador del IAS, representación esquemática. Sobre los tubos de memoria Williams (etiquetados desde 2-1 en la parte derecha hasta 2-39 en la izquierda) están los registros de memoria, las sumadoras y los resolutores digitales (llamados «disolutores» digitales cuando funcionaban mal). La parte opuesta de la máquina es similar, con tubos de memoria desde 20 hasta 2-38, registros de direcciones e instrucciones abajo, y registros aritméticos y de memoria arriba. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



El MANIAC en 1952. Estructurado como un motor V40 con válvulas en cabeza, medía alrededor de dos metros y medio de largo, dos de alto y medio de ancho, consumía unos 19,5 kilovatios y funcionaba a unos 16 kilociclos a pleno rendimiento. Las coberturas de polimetilmetacrilato sobre los registros mejoraban el flujo de aire, expelido a un ritmo de 50 metros cúbicos por minuto por los conductos superiores. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Julian Bigelow, Herman Goldstine, J. Robert Oppenheimer y John von Neumann en la inauguración pública del ordenador del IAS, el 10 de junio de 1952. «Oppenheimer nunca estuvo en contra de la máquina, y se hizo fotografiar varias veces así delante de ella, pero esa fue su principal aportación», afirmó Bigelow. «En realidad ni siquiera recuerdo verle por allí», añadió Willis Ware. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



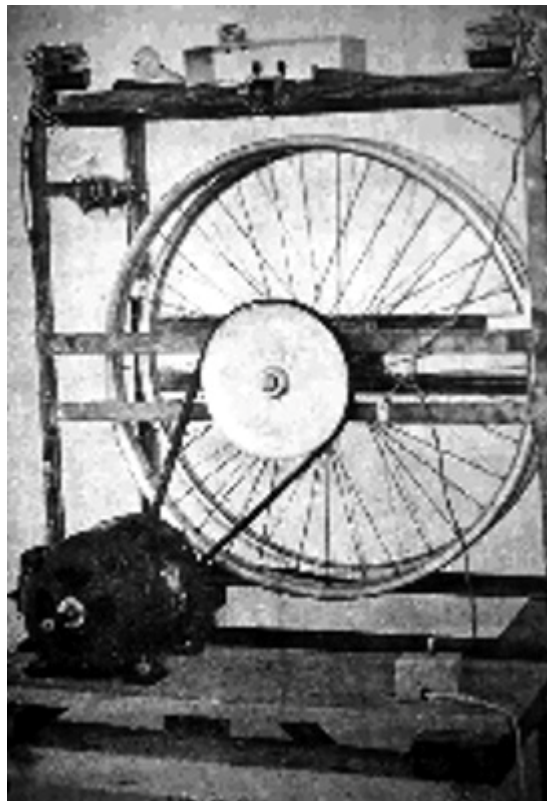
Equipo de ingenieros del IAS, 1952. De izquierda a derecha: Gordon Kent, Ephraim Frei, Gerald Estrin, Lewis Strauss, Robert Oppenheimer, Richard Melville, Julian Bigelow, Norman Emslie, James Pomerene, Hewitt Crane, John von Neumann y Herman Goldstine (fuera del encuadre). (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



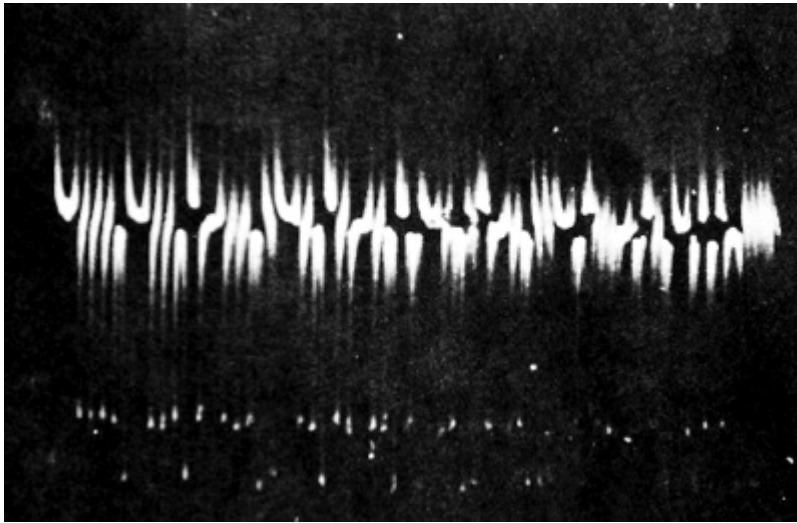
Personal del Proyecto de Computador Electrónico, 1952. De izquierda a derecha, sentados: desconocido, Lambert Rockefeller, dos desconocidas, Elizabeth Wooden, Hedvig Selberg, Norma Gilbarg, desconocidas. De pie, en medio: Frank Fell, tres desconocidos, Richard Melville, desconocido, Ephraim Frei, Peter Panagos, Margaret Lambe. De pie, al fondo: desconocido, Norman Phillips, Gordon Kent, desconocido, Herman Goldstine, James Pomerene, Julian Bigelow, Gerald Estrin y desconocido. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



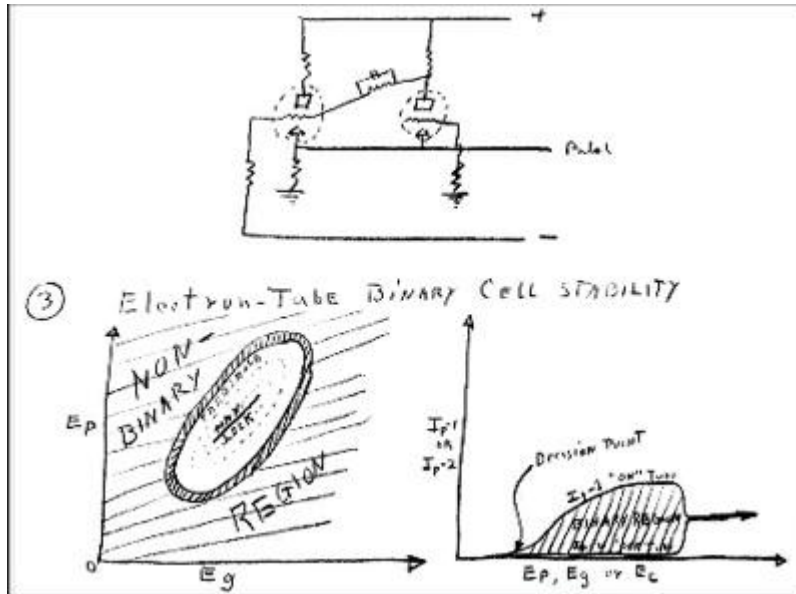
Zona de viviendas del IAS, 1950. En 1946 se compraron en una subasta en Mineville (en el norte del estado de Nueva York) once edificios excedentes de guerra con estructura de madera, que luego se desmontaron, se transportaron a Princeton por ferrocarril y se volvieron a montar bajo la supervisión de Julian Bigelow, pese a las objeciones de los vecinos más cercanos «debido a sus efectos perjudiciales para el área residencial de moda que va a invadir». (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



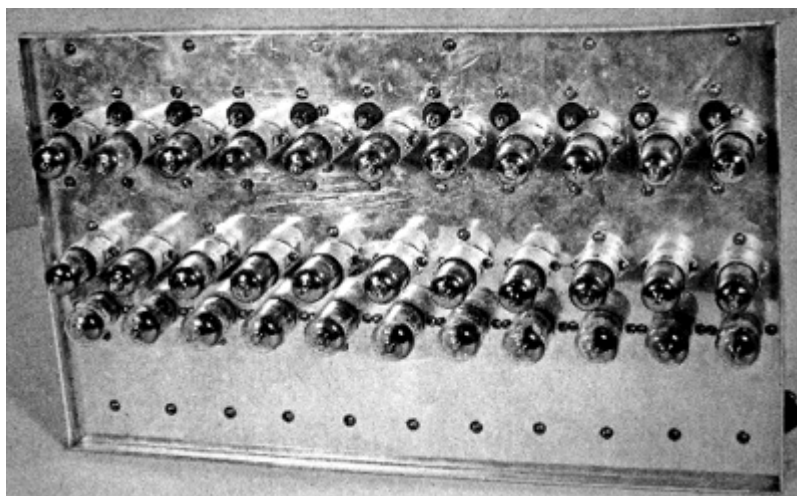
Unidad de cable de alta velocidad, 1946. Antes de que dispusiera de cinta magnética, el cable grabador de acero era la vía más inmediata de obtener una entrada y salida de datos de alta velocidad, siempre que se lograra hacerlo correr a velocidades mucho mayores que las del equipo de grabación de audio de la época. «Con este fin se utilizaron dos ruedas de bicicleta normales y corrientes —informaba Bigelow—, en cuyas llantas de madera se practicó un surco de casi un centímetro de fondo por cuatro de ancho.» (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Oscilograma de una palabra de 40 bits producida a partir de un cable de grabación magnético, 1947. La transición de lo analógico a lo digital ya estaba en marcha. Con este sistema se lograron velocidades de hasta 30 metros (o 90.000 bits) por segundo, antes de que se decidiera reemplazarlo por un tambor magnético de 40 pistas. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



«Estabilidad de la célula binaria de un tubo de electrones». Bosquejo elaborado por Julian Bigelow para el primer «Informe de progreso provisional sobre la realización física de un instrumento de computación electrónica», publicado el 1 de enero de 1947. Los tubos de vacío eran dispositivos analógicos, y lograr que actuaran digitalmente en grandes cantidades no era un problema fácil de resolver. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Prototipo de registro de desplazamiento de once fases, 1947, construido con tubos de vacío en miniatura de doble trío 6J6. Para todas las transferencias de información dentro de la máquina se adoptó un «bloqueo

positivo». Las tres hileras de conmutadores de cambio de estado permiten que todos los bits sean reproducidos en un registro intermedio antes de que se borre el registro inicial. El desplazamiento hacia la derecha o la izquierda, o la transferencia podía completarse en 0,6 microsegundos. Las lámparas de neón sobre la hilera superior de conmutadores de cambio de estado muestran el estado de cada bit. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Fabricación de modelos de producción de registros de desplazamiento, verano de 1948. Los diversos componentes tenían que reproducirse muchas veces, y se contrató a estudiantes locales para hacer la mayor parte del trabajo. Según Julian Bigelow, «muchas de nuestras máquinas eran manejadas por chicas de secundaria». (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Montaje de registros de desplazamiento de 40 fases, 1948. Los voltajes que alimentaban el filamento calentador y el cátodo de los tubos de vacío eran suministrados por el bastidor mediante conductores de chapa de cobre intercalados entre dos piezas de aislante, reduciendo así el ruido electrónico y eliminando todo el cableado visible salvo el relacionado con la arquitectura lógica de la máquina. La estructura física era tridimensional, así se optimizaba el enfriamiento del aire y se minimizaban los trayectos de conexión para mayor velocidad. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)

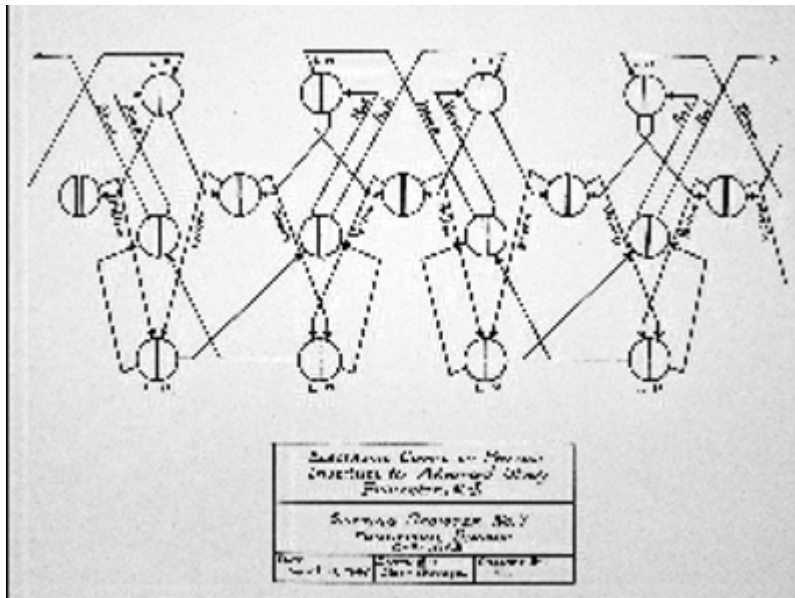
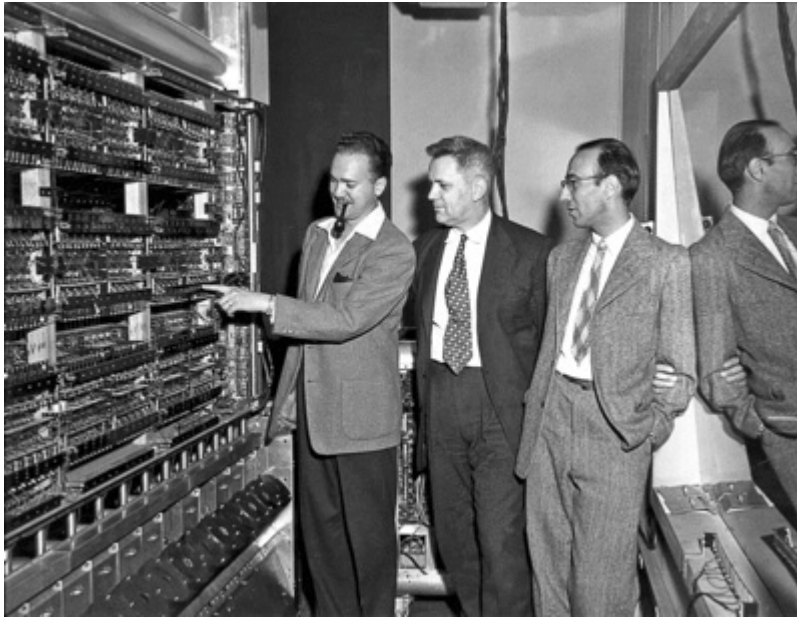
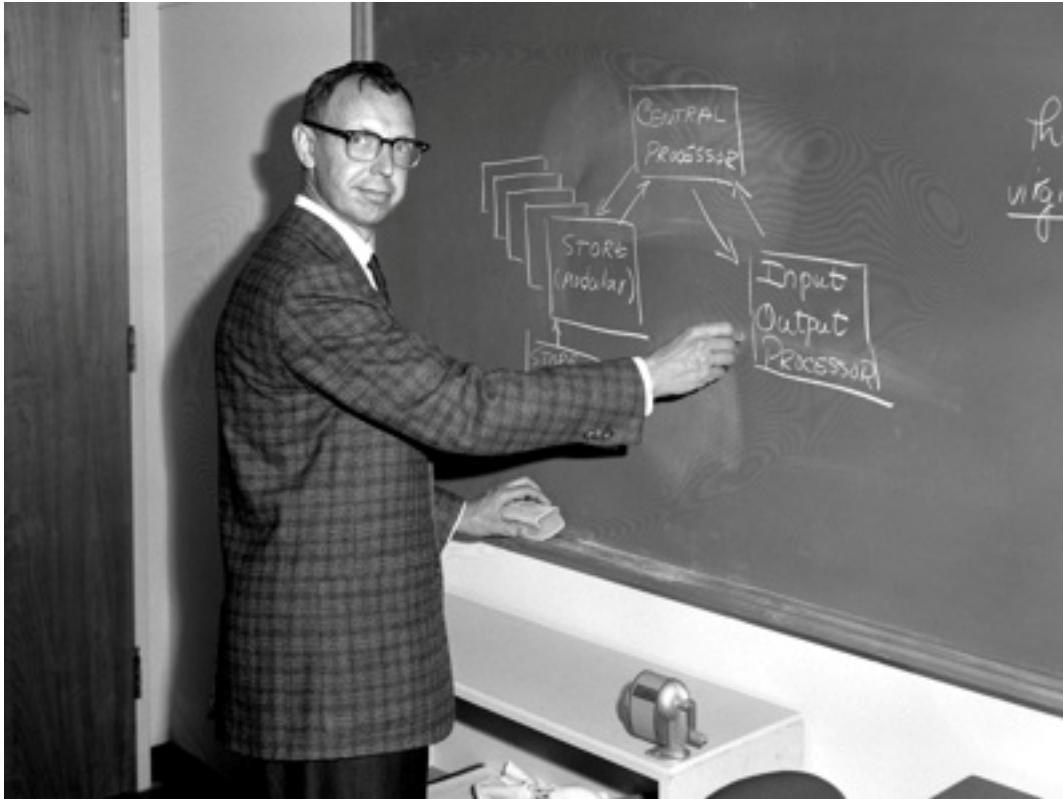


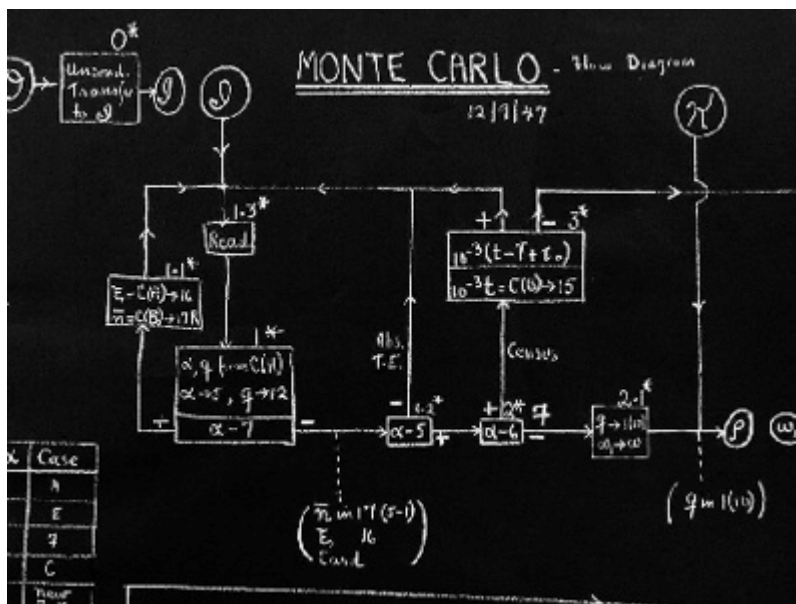
Diagrama funcional de un registro de desplazamiento, marzo de 1948. Sin precedentes en los que basarse, se exploró toda una serie de posibles formas de interconectar los diversos elementos del ordenador. «En esa época manteníamos interesantes discusiones especulativas con Von Neumann sobre la propagación de la información y la conmutación entre hipotéticas matrices de células —recuerda Bigelow—, y creo que el germen de sus posteriores estudios sobre autómatas celulares pudo haberse originado aquí.» (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



De izquierda a derecha: James Pomerene, Julian Bigelow y Herman Goldstine inspeccionando la unidad aritmética, 1952. Del total definitivo de 3.474 tubos de vacío del ordenador, 1.979 eran tubos en miniatura de doble triodo 6J6. Se utilizaban rutinas de autodiagnóstico para identificar los tubos sospechosos antes de que fallaran. «El ordenador puede verse como un gran banco de pruebas de tubos», observó Bigelow. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Willis Ware explicando la arquitectura del ordenador en la Corporación RAND, en Santa Mónica, California, en abril de 1962. Ware, que en marzo de 1946 se convirtió en la cuarta persona contratada para el proyecto del ordenador del IAS, se marchó a California después de que se completara el MANIAC en 1951. (Cortesía de los Archivos de RAND)



Organigrama del 9 de diciembre de 1947 de un problema de Montecarlo que estaba codificando Klári, con la ayuda de Von Neumann, en el marco de un ensayo de computación manual realizado en Los Álamos previamente a la ejecución del problema en el ENIAC, ahora trasladado de la Escuela Moore, en Filadelfia, al Campo de Pruebas de Aberdeen. (Papeles de Von Newmann, Library of Congress)



Stan Ulam gana una partida de póquer en la División T de Los Álamos (s. f.). Desde la izquierda, y en el sentido de las agujas del reloj: desconocido, Carson Mark, Bernd Matthias, Stan Ulam, Foster Evans, George Cowan y Nicholas Metropolis. (Claire y Françoise Ulam; fotógrafo y fecha desconocidos)



Klára (Klári) von Neumann, tal como aparecía en su permiso de conducir francés, emitido el 15 de julio de 1939. (Marina von Neumann Whitman)



John von Neumann con un Cadillac V8 cupé, camino de Florida, en enero de 1939. (Marina von Neumann Whitman)



Klári von Neumann, Florida, enero de 1939. Johnny y ella se casaron en Budapest en noviembre de 1938, y, tras abandonar una Europa que Klári describiría como «un barril de pólvora con una mecha peligrosamente corta encendida y ardiendo rápidamente», zarparon de inmediato rumbo a Estados Unidos. Tras asistir a una reunión de la Sociedad Matemática Estadounidense en Virginia, se dirigieron a Cayo Hueso a través de los Everglades de Florida.
(Marina von Neumann Whitman)



Stanislaw y Françoise Ulam, década de 1940. El matemático polaco Stan Ulam llegó a Princeton invitado por Von Neumann en diciembre de 1935, con una plaza de profesor en el Instituto de Estudios Avanzados por 300 dólares anuales, lo suficiente para dar el salto a Estados Unidos. Luego obtuvo una beca en Harvard, se trajo de Polonia a su hermano pequeño Adam y conoció a Françoise, que era estudiante de posgrado en Holyoke, Massachusetts, en el otoño de 1939. (Claire y Françoise Ulam)



Nicholas Metropolis, foto de su tarjeta de identificación en Los Álamos, c. 1943. El laboratorio de Los Álamos necesitaba su propia copia del ordenador del IAS lo antes posible, y en julio de 1948 Von Neumann recomendó a Nick Metropolis para la tarea de construirlo. «Parece que aquí poco a poco vamos organizando [el] programa de construcción —le escribía Metropolis a Klári von Neumann el 15 de febrero de 1949—. Hasta a usted le gustará Los Álamos, con una máquina con la que jugar.» (Archivos del Laboratorio Nacional de Los Álamos)



Paul Stein (izquierda) y Nicholas Metropolis (derecha) observando una partida de ajedrez, que jugaba (en un tablero de 6 × 6, sin alfiles) el MANIAC-1 en Los Álamos, en 1956. A su izquierda puede verse la cinta perforada de entrada y salida de datos, y en el estante superior la memoria modular de tubos Williams de la máquina. (Archivos del Laboratorio Nacional de Los Álamos)



John von Neumann (arriba, con traje y colocado al revés que los demás) y Klári von Neumann (la cuarta por abajo) visitan el Gran Cañón a finales de la década de 1940. (Cortesía de Marina von Neumann Whitman)



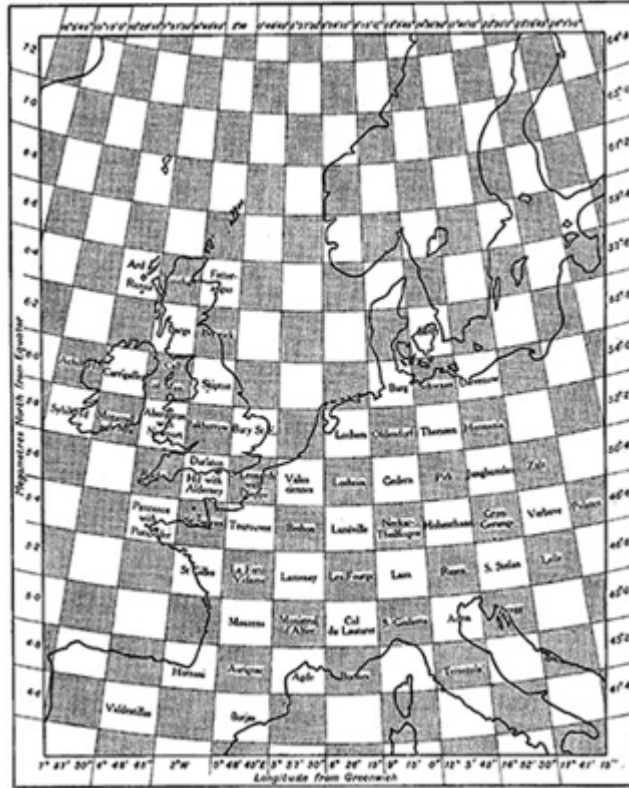
Françoise, Claire y Stanislaw Ulam con John von Neumann, que acuñó la expresión «Los Ulamos» en referencia a la hospitalidad de la familia Ulam, primero en Los Álamos y luego en Santa Fe. (Papeles de Stanislaw Ulam, Sociedad Filosófica Estadounidense; cortesía de Françoise Ulam)



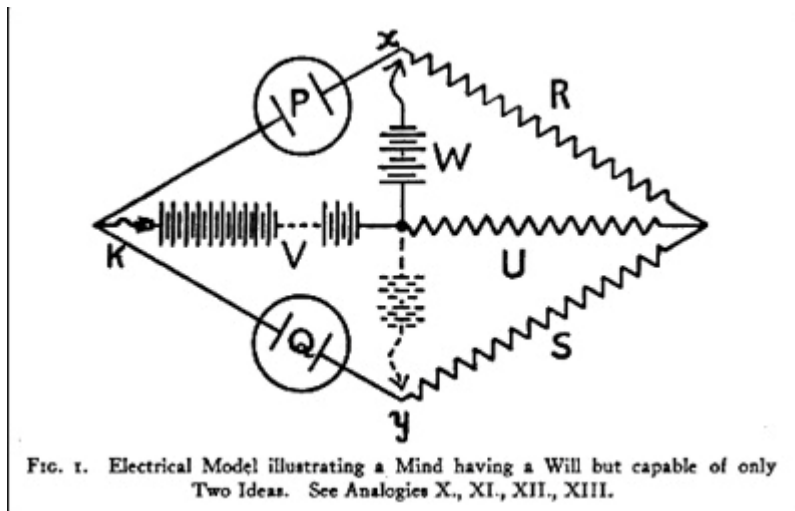
Los actores en el drama de la bomba de hidrógeno, c. 1950: Iósif Stalin (con la bomba «made in USSR»), J. Robert Oppenheimer (como un ángel); Stanislaw Ulam (con la escupidera), Edward Teller (en el centro) y George Gamow (con un gato). (Montaje de George Gamow, cortesía de Claire y Françoise Ulam)



Von Neumann (izquierda) en el Arsenal de Redstone, 1955, antes de observar una prueba de misiles con: (de izquierda a derecha) el general de brigada Holger N. Toftoy (comandante del Arsenal de Redstone), el pionero de los cohetes germano-estadounidense Werner von Braun, el general de brigada J. P. Daley, y el coronel Miles B. Chatfield. (Papeles de Von Neumann, Library of Congress)



Rejilla computacional sobre el norte de Europa, utilizada por Lewis Fry Richardson en su modelo numérico desarrollado durante la Primera Guerra Mundial y publicado en 1922, en «Predicción del tiempo mediante proceso numérico». (Lewis Fry Richardson, 1922)



«Modelo eléctrico que ilustra una mente dotada de voluntad, pero capaz de solo dos ideas», propuesto por Lewis Fry Richardson en un estudio de 1930

que planteaba la posibilidad, más tarde recuperada por Alan Turing, de que la indeterminación electrónica aleatoria se pudiera amplificar de modo que se tradujera en pensamiento creador e incluso en libre albedrío. (Lewis Fry Richardson, «The Analogy Between Mental Images and Sparks», Psychological Review, vol. 37, n.º 3, mayo de 1930, p. 222)



La expedición meteorológica del ENIAC, Campo de Pruebas de Aberdeen, marzo de 1950. De izquierda a derecha: Harry Wexler, John von Neumann, M. H. Frankel, Jerome Namias, John Freeman, Ragnar Fjørtoft, Francis Reichelderfer y Jule Charney. (Museo del MIT)

Stellar Evolution	10^{17}	Lifetime of the Sun (10^{10} years)
	10^{16}	
	10^{15}	
	10^{14}	
	10^{13}	
Biological Evolution	10^{12}	1 Million Years
	10^{11}	
	10^{10}	
	10^9	
	10^8	
Meteorology	10^7	Human Lifespan (80 Years)
	10^6	
	10^5	
	10^4	
	10^3	
Shock Waves	10^2	8 Hours
	10^1	
	10^0	
	10^{-1}	
	10^{-2}	
Nuclear Explosions	10^{-3}	Blink of an Eye (.3 seconds)
	10^{-4}	
	10^{-5}	
	10^{-6}	
	10^{-7}	
Nuclear Explosions	10^{-8}	Williams Tube memory access time
	10^{-9}	
	10^{-10}	
	10^{-11}	Lifetime of a Neutron in a nuclear explosion

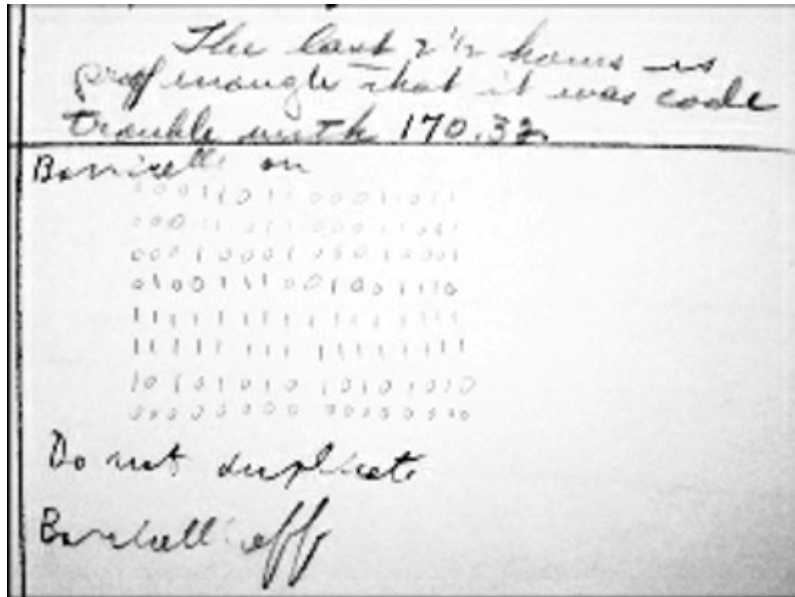
Cinco grandes problemas (izquierda) abordados por el Proyecto de Computador Electrónico del IAS, 1946-1958, con la escala de tiempo en segundos (en el centro) y una serie de fenómenos representativos (a la derecha) a efectos de comparación. La capacidad de atención humana se sitúa exactamente en medio de este espectro temporal de 26 órdenes de magnitud. (Cortesía del autor)



John von Neumann en Florida, enero de 1939. Von Neumann empezó a formular la teoría de los autómatas autorreproductores, lo bastante general como para abarcar tanto los organismos vivos como las máquinas. (Marina von Neumann Whitman)



Nils Aall Barricelli, tal como aparece el 8 de diciembre de 1951 en su solicitud a la Fundación Docente de Estados Unidos en Noruega de una beca de viaje Fulbright que le permitiera visitar el Instituto de Estudios Avanzados, «para realizar experimentos numéricos mediante el uso de grandes máquinas de calcular, a fin de clarificar las primeras etapas de la evolución de las especies». (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



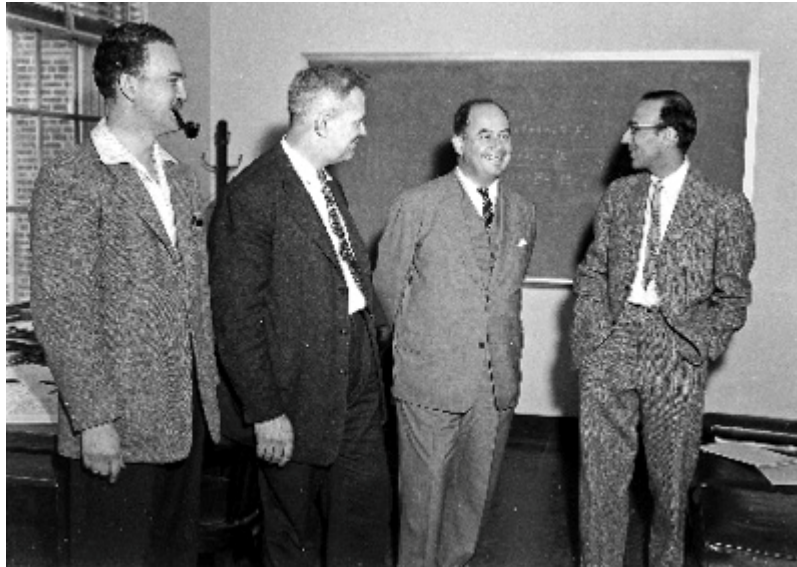
Diario Operativo de Aritmética General, 23 de noviembre de 1954. Tras las palabras «Barricelli enciende» a las 00.45, el ordenador «no duplica» el experimento de evolución numérica, y a la 1.58 se anota en el diario: «Barricelli apaga». La mayoría de los códigos se representaban en notación hexadecimal; Barricelli trabajaba directamente en el nivel binario, tal como se ve aquí. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



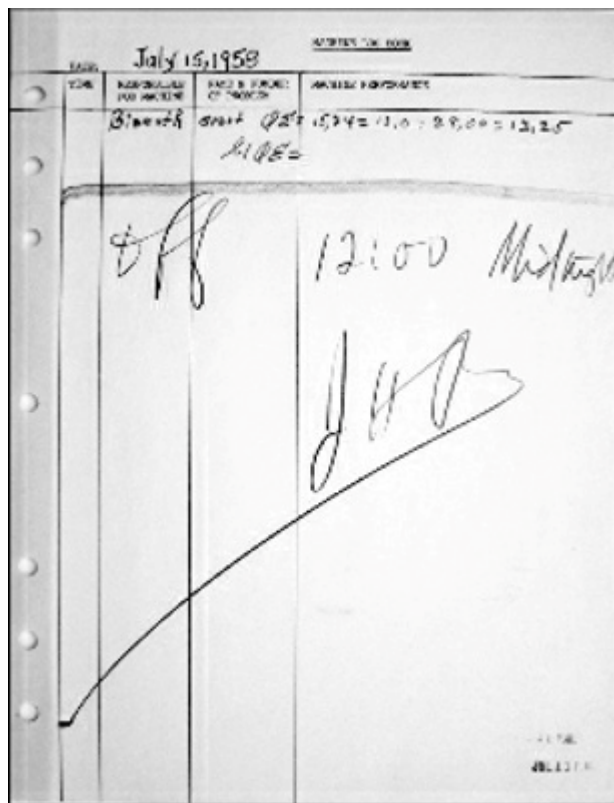
El universo de Barricelli, 1953. Se tomó una muestra de cinco de cada cien generaciones de simbioorganismos numéricos y los datos fueron transferidos a tarjetas perforadas, ensamblados en una matriz y copiados por contacto en papel de cianotipo fotosensible, dejando la impronta visible que aquí se aprecia. Las reglas que gobernaban este universo concreto eran la «Norma Azul Modificada», que proscribía los parásitos, pero permitía las mutaciones. Los resultados favorecían «unos números más pequeños y probablemente una uniformidad más rápida» que la «Norma Azul» (que proscribía las mutaciones), donde «una flora inicialmente grande de nuevos organismos, más tarde probablemente una especie, se extiende a todo el universo genético», informaba Barricelli en agosto de 1953. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



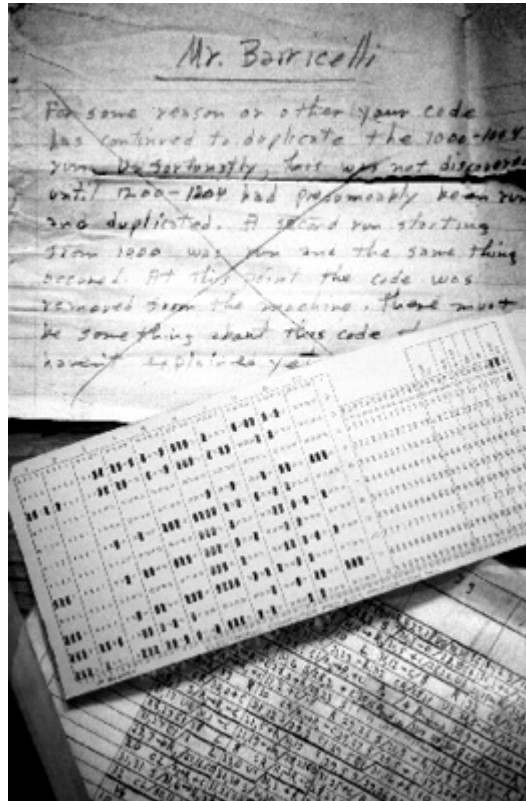
Alan Turing (de pie) con Brian Pollard (a la izquierda) y Keith Lonsdale (a la derecha), sentados en la consola del ordenador Ferranti Mark 1 en la Universidad de Manchester, en 1951. El Ferranti Mark 1, con 256 palabras de 40 bits (1 kilobyte) de memoria de tubo de rayos catódicos y un tambor magnético de 16.000 palabras, fue la primera materialización comercialmente disponible de la máquina universal de Turing. A instancias de este se incluyó un generador de números aleatorios, a fin de que el ordenador pudiera aprender por el método de ensayo y error o realizar una búsqueda mediante un recorrido aleatorio. (Departamento de Informática, Universidad de Manchester)



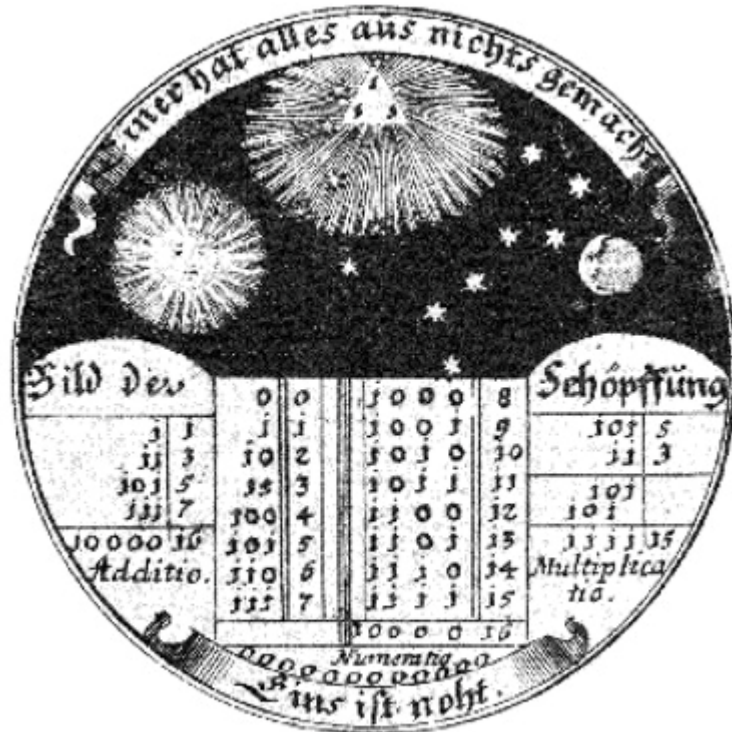
James Pomerene, Julian Bigelow, John von Neumann y Herman Goldstine en el Instituto de Estudios Avanzados; Von Neumann, que sucumbió al cáncer en 1957, «murió muy joven, tras ver la tierra prometida, pero sin apenas entrar en ella», recordaría Stan Ulam en 1976. (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Última entrada del diario de funcionamiento del MANIAC, correspondiente a las 00.00 horas del 15 de julio de 1958, firmada por Julian H. Bigelow («JHB»). (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



Reliquias descubiertas en el sótano del Edificio Oeste del Instituto de Estudios Avanzados en noviembre de 2000. Debajo: código fuente del «código de tambor de Barricelli». En el centro: tarjeta de salida de una de las muestras periódicas realizadas a los «simbioorganismos numéricos» durante su evolución. Arriba: nota a Barricelli, que concluía: «Debe de haber algo acerca de este código que usted no ha explicado todavía». (Centro de Documentación Shelby White y Leon Levy, Instituto de Estudios Avanzados)



El universo digital de Leibniz. Diseño para un medallón de plata, presentado por Gottfried Wilhelm Leibniz a Rudolph August, duque de Brunswick, el 2 de enero de 1697, muestra «la creación de todas las cosas de la nada por la omnipotencia de Dios» mediante aritmética binaria. El cómputo digital, creía Leibniz, era fundamental para la propia existencia del universo, y no un mero instrumento en beneficio de «quienes venden aceite o sardinas.» (De una reproducción incluida en Erich Hochstetter y Hermann-Josef Greve (eds.), Herr von Leibniz' Rechnung mit Null und Einz , Siemens Aktiengesellschaft, Berlín, 1966)



El autor en el Instituto de Estudios Avanzados, el 31 de octubre de 1954. De izquierda a derecha: Verena Huber-Dyson, Esther Dyson, George Dyson y Katarina Haefeli. (Cortesía del autor)

Notas:

- ^[11] Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 37.
- ^[12] John von Neumann, «The Point Source Solution», en *Blast Wave*, Laboratorio Científico de Los Alamos, LA-2000 (recopilación de partes desclasificadas de LA-1020 y LA-1021, ed. de Hans Bethe, Klaus Fuchs, Joseph Hirschfelder, John Magee, Rudolph Peierls y John von Neumann; informe escrito en agosto de 1947 y distribuido el 27 de marzo de 1958), p. 28.
- ^[13] Hans Bethe, «Energy Production in Stars», *Physics Today*, septiembre de 1968, p. 44.
- ^[14] Abraham Flexner, Actas de los administradores, 13 de abril de 1936 [LAS].
- ^[15] Nicholas Metrópolis, *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. xvii.
- ^[16] «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report», marzo de 1953, p. 3 [LAS].
- ^[17] Gregory Bateson, *Mind and Nature*, Bantam, Nueva York, 1979, p. 228.
- ^[18] Francis Bacon, *De augmentis scientiarum*, 1623, trad. ingl. de Gilbert Wats, *Of the advancement and proficience of Learning, or The Partitions of Sciences...*, Londres, 1640, pp. 265-266.
- ^[19] Thomas Hobbes, *Elements of Philosophy: The First Section, Concerning Body, chapter 1, Computation, or Logique*, Andrew Crooke, Londres, 1656, pp. 2-3.
- ^[10] Oficina de Investigación Naval de Estados Unidos, *A Survey of Automatic Digital Computers, 1953* (recopilado en febrero de 1953).
- ^[111] Alan Turing, «Lecture to the London Mathematical Society on 20 February 1947», p. 1 [AMT].
- ^[12] Instituto de Estudios Avanzados, «Memorándum for the Electronic Computer Project», 9 de noviembre de 1949 [IAS].
- ^[13] Lewis L. Strauss a J. Robert Oppenheimer, 10 de abril de 1953 [IAS].
- ^[14] J. Robert Oppenheimer a Lewis Strauss, 22 de abril de 1953 [IAS].
- ^[15] Jack Rosenberg, entrevista, 12 de febrero de 2005 [GBD].
- ^[16] John von Neumann, «Defense in Atomic War», ponencia presentada en un simposio en honor del doctor R. H. Kent el 7 de diciembre de 1955, y publicada como «The Scientific Bases of Weapons», *Journal of the American Ordnance Association*, 1955, p. 23; reprod. en *Collected Works*, 1963, vol. 6, p. 525.
- ^[17] «Discussion at the 258th Meeting of the National Security Council, Thursday, September 8, 1955», 15 de septiembre de 1955, Papeles de Eisenhower, Biblioteca Dwight D. Eisenhower, Abilene (KS) (transcrip. en NASA Sputnik History Collection).
- ^[18] Robert Oppenheimer a James Conant, 21 de octubre de 1949, en *In the Matter of]. Robert Oppenheimer*, Government Printing Office, Washington, 1954, p. 243. «Minutes, Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Steering Committee, 20 March 1953» [IAS].
- ^[19] James D. Watson y Francis H. C. Crick, «A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid», *Nature*, 171, 25 de abril de 1953, p. 737.
- ^[20] Nils Aall Barricelli, «Symbiogenetic Evolution Processes Realized by Artificial Methods», *Methodos*, vol. 8, n.º 32, 1956, p. 308.
- ^[21] Asociación de la Industria de Semiconductores, Estadísticas del Comercio Mundial de Semiconductores, datos de 2010, presentados por Paul Otellini en la Reunión de Inversores de Intel, 17 de mayo de 2011.
- ^[22] Willis Ware, entrevista, 23 de enero de 2004 [GBD]; Harris Mayer, entrevista, 13 y 25 de mayo de 2011 [GBD].
- ^[23] *A hetterfrom William Penn, Proprietary and Governour of Pennsylvania in America, to the Committee of the Free Society of Traders of that Province, residing in London, 16 August 1683*, Londres, 1683, p. 3.

- ^[241] Jefe Tenoughan (río Schuylkill), citado por William Penn, invierno de 1683-1684, en John Oldmixon, *The British Empire in America: Containing the History of the Discovery, Settlement, Progress and present State of all the British Colonies on the Continent and Islands of America*, Londres, 1708, vol. 1, p. 162.
- ^[251] Samuel Smith, *The History of the Colony of Nova-Caesaria, or New Jersey: containing an account of its first settlement, progressive improvements, the original and present constitution, and other events, to the year 1121*, James Parker, Burlington, 1765; 2.^a ed., William Sharp, Trenton, 1877, p. 79.
- ^[261] *The Trial of William Penn and William Mead, at the Sessions held at the Old Baily in London, the 1st, 3rd, 4th, and 5th of September, 1670. Done by themselves*, en *A Compleat Collection of State-Tryals, and Proceedings upon High Treason, and other Crimes and Misdemeanours*, Londres, 1719, vol. 2, p. 56.
- ^[271] *Ibidem*, p. 60.
- ^[281] *Ibidem*, p. 60.
- ^[291] William Penn, *Petition to Charles II, May 1680*, en Jean R. Soderlund (ed.), *William Penn and the Founding of Pennsylvania, 1680-1684*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1983, p. 23.
- ^[301] William Penn a Robert Boyle, 5 de agosto de 1683, en *Works of Robert Boyle*, Londres, 1744, vol. 5, p. 646.
- ^[311] Escritura del 20 de octubre de 1701 entre Penn y Stockton, citada en John Frelinghuysen Hageman, *A History of Princeton and its Institutions*, J. B. Lippincott, Filadelfia, 1879, vol. 1, p. 36.
- ^[321] Señora R. H. Fisher, en Joseph Dorfman, *Thorstein Veblen and His America*, Viking, Nueva York, 1934, p. 504.
- ^[331] Herman Goldstine, entrevista con Albert Tucker y Frederik Nebeker, 22 de marzo de 1985, *The Princeton Mathematics Community in the 1930s*, transcripción 15; Seeley G. Mudd, Universidad de Princeton, N. J. (<http://www.princeton.edu/mudd/math>), Biblioteca de Manuscritos de Albert Tucker, en *The Princeton Mathematics...*, transcripción 15; Abraham Flexner a Herbert Maass, 15 de diciembre de 1937, IAS.
- ^[341] Herman Goldstine, en Thomas Bergin (ed.), *50 Years of Army Computing: From ENIAC to MSRC. A Record of a Conference held at Aherdeen Proving Ground, Maryland, on November 13 and 14, 1996*, Laboratorio de Investigación del Ejército de Estados Unidos, Aberdeen (MD), 2000, p. 32.
- ^[351] Deane Montgomery, entrevista con Albert Tucker y Frederik Nebeker, 13 de marzo de 1985, *The Princeton Mathematics Community in the 1930s*, transcripción 25; Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN; Herman Goldstine, entrevista con Albert Tucker y Frederik Nebeker, 22 de marzo de 1985, *The Princeton Mathematics Community in the 1930s*, transcripción 15.
- ^[361] Forest Ray Moulton, en David Alan Grier, «Dr. Veblen Takes a Uniform: Mathematics in the First World War», *American Mathematical Monthly*, 108, octubre de 2001, p. 928.
- ^[371] Norbert Wiener, *Ex-Prodigy*, Simón & Schuster, Nueva York, 1953, p. 254; *Ibidem*, p. 258; *Ibidem*, p. 259; *Ibidem*, p. 257.
- ^[381] Oswald Veblen a Simón Flexner, 24 de octubre de 1923, IAS.
- ^[391] Oswald Veblen a Simón Flexner, 23 de febrero de 1924, IAS.
- ^[401] Simón Flexner a Oswald Veblen, 11 de marzo de 1924, IAS.
- ^[411] Abraham Flexner, *I Remember*, Simón & Schuster, Nueva York, 1940, p. 13; Abraham Flexner, «The Usefulness of Useless Knowledge», *Harper's Magazine*, octubre de 1939, p. 548.
- ^[421] Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN.
- ^[431] Oswald Veblen a Frank Aydelotte, s.f, IAS.
- ^[441] Oswald Veblen a Abraham Flexner, 19 de marzo de 1935, IAS.
- ^[451] *Science*, New Series, vol. 74, n.º 1.922, 30 de octubre de 1931, p. 433; Herman Goldstine, entrevista con Albert Tucker y Frederik Nebeker, 22 de marzo de 1985, *The Princeton Mathematics Community in the 1930s*, transcripción 15.
- ^[461] Oswald Veblen a Albert Emstem, 17 de abril de 1930 [IAS-BS].

- ^[471] Albert Emstern a Oswald Veblen, 30 de abril de 1930 [IAS-BS].
- ^[481] Herbert H. Maass, *Report on the Founding and Early History of the Institute*, s.f., c. 1955 [IAS]; Abraham Flexner, «The American University», *Atlantic Monthly*, vol. 136, octubre de 1925, pp. 530-541; Herbert H. Maass, *Report on the Founding and Early History of the Institute*, s.f., c. 1955, IAS.
- ^[491] Abraham Flexner, *I Remember*, Simón & Schuster, Nueva York, 1940, p. 356.
- ^[501] Abraham Flexner, *Universities: American, English, Germán*, Oxford University Press, Nueva York, 1930, p. 217.
- ^[511] Louis Bamberger y Carrie Fuld, carta que acompaña a un codicilo testamentario, borrador, s.f., c. enero de 1930, IAS.
- ^[521] Oswald Veblen a Abraham Flexner, enero de 1930, en Beatrice Stern, *A History of the Institute for Advanced Study, 1930-1950*, vol. 1, p. 126; Abraham Flexner a Oswald Veblen, 27 de enero de 1930, IAS.
- ^[531] Louis Bamberger a los administradores, 4 de junio de 1930, IAS.
- ^[541] Abraham Flexner, «The Usefulness of Useless Knowledge», *Harper's Magazine*, octubre de 1939, p. 551.
- ^[551] Julian Huxley a Abraham Flexner, 11 de diciembre de 1932 [IAS-BS]; Louis Bamberger a los administradores, 23 de abril de 1934, IAS.
- ^[561] Oswald Veblen a Abraham Flexner, 19 de junio de 1931, IAS.
- ^[571] Charles Beard a Abraham Flexner, 28 de junio de 1931, en Beatrice Stern, *A History of the Institute for Advanced Study, 1930-1950*, vol. 1, p. 104; Félix Frankfurter a Frank Aydelotte, 16 de diciembre de 1933, IAS.
- ^[581] Abraham Flexner a los administradores, 26 de septiembre de 1931, IAS.
- ^[591] Abraham Flexner, «The Usefulness of Useless Knowledge», *Harper's Magazine*, octubre de 1939, p. 551.
- ^[601] Abraham Flexner, «University Patents», *Science*, vol. 77, n.º 1.996, 31 de marzo de 1933, p. 325; Abraham Flexner, «The Usefulness of Useless Knowledge», *Harper's Magazine* (octubre de 1939), p. 544.
- ^[611] Abraham Flexner a los administradores, 26 de septiembre de 1931, IAS; *Ibidem*.
- ^[621] Abraham Flexner a Louis Bamberger, 15 de marzo de 1935, IAS.
- ^[631] Herbert Maass a Abraham Flexner, 9 de junio de 1931, IAS; Edgar Bamberger a Abraham Flexner, 9 de diciembre de 1931, IAS; Herbert H. Maass, *Report on the Founding and Early History of the Institute*.
- ^[641] Abraham Flexner a Oswald Veblen, 22 de diciembre de 1932, IAS.
- ^[651] John von Neumann a Abraham Flexner, 26 de abril de 1933, IAS.
- ^[661] Harry Woolf (ed.), *A Community of Scholars: The Institute for Advanced Study Faculty and Members, 1930-1980*, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton, 1980, p. IX.
- ^[671] Albert Einstein a la reina Isabel de Bélgica, 20 de noviembre de 1933 (Archivos de Einstein, Universidad Hebrea de Jerusalén, ref 32-369.00).
- ^[681] Oswald Veblen a Abraham Flexner, 12 de abril de 1934, IAS; Abraham Flexner a Herbert Maass, 18 de octubre de 1932, IAS.
- ^[691] Herbert Maass a Abraham Flexner, 9 de noviembre de 1932, IAS; Oswald Veblen a Abraham Flexner, 13 de marzo de 1933, IAS; Louis Bamberger a Abraham Flexner, 29 de octubre de 1935, IAS; Herbert Maass, Actas de los administradores, 13 de abril de 1936, IAS.
- ^[701] Abraham Flexner a Louis Bamberger, 28 de octubre de 1935, IAS; Abraham Flexner a Louis Bamberger, 19 de diciembre de 1935, IAS.
- ^[711] Oswald Veblen a Frank Aydelotte, 13 de febrero de 1936, IAS.
- Herman Goldstine, entrevista con Nancy Stern, 11 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 18.
- ^[731] Watson Davis, «Super-University for Super-Scholars», *The Science News-Letter*, vol. 23, n.º 616 (28 de enero de 1933), p. 54; Abraham Flexner, *I Remember*, Simón & Schuster, Nueva York, 1940, p. 375; *Ibidem*, pp. 377-378; Frank Aydelotte a Herbert H. Maass, 15 de junio de 1945, IAS.

- [\[74\]](#) Thorstein Veblen, *The Higher Learning in America*, B. W. Huebsch, Nueva York, 1918, p. 45.
- [\[75\]](#) Abraham Flexner, *I Remember*, Simón & Schuster, Nueva York, 1940, pp. 361 y 375.
- [\[76\]](#) Abraham Flexner a Frank Aydelotte, 15 de noviembre de 1939 [IAS-BS]; Klára Von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963 [KVN].
- [\[77\]](#) Frank Aydelotte, informe al director, 19 de mayo de 1941, IAS.
- [\[78\]](#) Harry Woolf (ed.), *A Community of Scholars: The Institute for Advanced Study Faculty and Members, 1930-1980*, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton, 1980, p. 130.
- [\[79\]](#) Oswald Veblen a Abraham Flexner, 24 de marzo de 1937 [IAS-BS]; J. B. S. Haldane, 12 de noviembre de 1936 [IAS-BS].
- [\[80\]](#) Deane Montgomery, entrevista con Albert Tucker y Frederik Ne-beker, 13 de marzo de 1985.
- [\[81\]](#) Benoit Mandelbrot, entrevista, 8 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[82\]](#) P. A. M. Dirac a los administradores del IAS, s.f [FJD]; J. Robert Oppenheimer a Oswald Veblen, 27 de mayo de 1959, IAS.
- [\[83\]](#) Freeman J. Dyson a S. Chandrasekhar, M. J. Lighthill, sir Geoffrey Taylor, Sydney Goldstein y sir Edward Bullard, 20 de octubre de 1954, IAS.
- [\[84\]](#) Klára von Neumann, *The Grasshopper*, c. 1963 [KVN].
- [\[85\]](#) Ni cholas Vonneumann, entrevista, 6 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[86\]](#) Nicholas Vonneumann, *John von Neumann as Seen by His Brother*, Nicholas Vonneumann, Meadowbrook (PA), 1987, p. 17.
- [\[87\]](#) Nicholas Vonneumann, entrevista, 6 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[88\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, p. 80; Herman Goldstine, *The Computer from Pascal to Von Neumann*, Princeton University Press, Princeton, 1972, p. 167.
- [\[89\]](#) Nicholas Vonneumann, *John von Neumann as Seen by His Brother*, Nicholas Vonneumann, Meadowbrook (PA), 1987, p. 9.
- [\[90\]](#) *Ibidem*, p. 10.
- [\[91\]](#) John von Neumann, declaración tras ser nombrado miembro de la AEC, 8 de marzo de 1955 [VNBC].
- [\[92\]](#) Nicholas Vonneumann, entrevista, 6 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[93\]](#) Nicholas Vonneumann, *John von Neumann as Seen by His Brother*, Nicholas Vonneumann, Meadowbrook (PA), 1987, pp. 23 y 16.
- [\[94\]](#) *Ibidem*, p. 24.
- [\[95\]](#) Nicholas Vonneumann, entrevista, 6 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[96\]](#) Stanislaw Ulam, «John von Neumann: 1903-1957», *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 64, n.º 3, parte 2 (mayo de 1958), p. 1.
- [\[97\]](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963 [KVN], Stanislaw Ulam, «John von Neumann: 1903-1957», *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 64, n.º 3, parte 2, mayo de 1958, p. 37.
- [\[98\]](#) John von Neumann a Stan Ulam, 9 de diciembre de 1939 [SFU]; Oskar Morgenstern en *John von Neumann*, documental producido por la Asociación Matemática de Estados Unidos, 1966.
- [\[99\]](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963 [KVN].
- [\[100\]](#) John von Neumann y Oskar Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, Princeton, 1944, p. 2; Paul A. Samuelson, «A Revisionist View of Von Neumann's Growth Model», en M. Dore, S. Chakravarty y Richard Goodwin (eds.), *John von Neumann and Modern Economics*, Oxford University Press, Oxford, 1989, p. 121.
- [\[101\]](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963 [KVN].

- [102] Edward Teller, en Jean R. Brink y Roland Haden, «Interviews with Edward Teller and Eugene P. Wigner», *Annals of the History of Computing*, vol. 11, n.º 3 (1989), p. 177.
- [103] Herman H. Goldstine, «Remembrance of Things Past», en Stephen G. Nash (ed.), *A History of Scientific Computing*, ACM Press, Nueva York, 1990, p. 9.
- [104] Klára von Neumann, «Jo/in», c. 1963 [KVN]; Cuthbert O Hurd, entrevista con Nancy Stern, 20 de enero de 1981, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 76.
- [105] Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963 [KVN].
- [106] Françoise Ulam, *From Paris to Los Alamos*, inédito, julio de 1994 [SFU]; Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963 [KVN].
- [107] Herman Goldstine, entrevista con Albert Tucker y Frederik Nebeker; Nicholas Vonneumann, entrevista con el autor.
- [108] Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, pp. 65 y 79; Vincent Ford a Stan Ulam, 18 de mayo de 1965 [SUAPS].
- [109] Martin Schwarzschild, entrevista con William Aspray, 18 de noviembre de 1986, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 124.
- [110] Paul R. Halmos, «The Legend of John von Neumann», *American Mathematical Monthly*, vol. 80, n.º 4, abril de 1973, p. 394; *Ibidem*, p. 394; Eugene Wigner, «Two Kinds of Reality», *The Monist*, vol. 49, n.º 2, abril de 1964, reprod. en *Symmetries and Reflections*, MIT Press, Cambridge (MA), 1967, p. 198.
- [111] Raoul Bott, entrevista, 10 de marzo de 2005 [GBD].
- [112] Stanislaw Ulam, «John von Neumann: 1903-1957», *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 64, n.º 3, parte 2, mayo de 1958, p. 2; Eugene P. Wigner, *The Recollections of Eugene P. Wigner, as Told to Andrew Szanton*, Plenum Press, Nueva York y Londres, 1992, p. 51.
- [113] Theodore von Kármán (con Lee Edson), *The Wind and Beyond: Theodore von Kármán, Pioneer in Aviation and Pathfinder in Space*, Little, Brown & Co., Boston y Toronto, 1967, p. 106.
- [114] Abraham A. Fraenkel a Stan Ulam, 11 de noviembre de 1957 [SUAPS].
- [115] Stanislaw Ulam, «John von Neumann: 1903-1957», *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 64, n.º 3, parte 2 (mayo de 1958), pp. 11-12.
- [116] *Ibidem*, p. 12.
- [117] Paul Halmos en *John von Neumann*, documental producido por la Asociación Matemática de Estados Unidos, 1966.
- [118] Paul A. Samuelson, «A Revisionist View of Von Neumann's Growth Model», en M. Dore, S. Chakravarty y Richard Goodwin (eds.), *John von Neumann and Modern Economics*, Oxford University Press, Oxford, 1989, p. 118.
- [119] Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963 [KVN].
- [120] Eugene Wigner, *The Recollections of Eugene P. Wigner, as Told to Andrew Szanton*, Plenum Press, Nueva York y Londres, 1992, p. 134.
- [121] Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN; John von Neumann a Oswald Veblen, 11 de enero de 1931, OVBC.
- [122] Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [123] John von Neumann a Oswald Veblen, 3 de abril de 1933, OVBC.
- [124] Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN.
- [125] Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN; Marina von Neumann Whitman, entrevista, 3 de mayo de 2010 [GBD].
- [126] John von Neumann a Klára von Neumann, s.f., sin duda del verano de 1949, KVN.

- [\[127\]](#) Israel Halperin, entrevista con Albert Tucker, 25 de mayo de 1984, *Princeton Mathematics Community in the 1930s*, transcripción 18.
- [\[128\]](#) Robert D. Richtmyer, *People Don't Do Arithmetic*, inédito, 1995; Oskar Morgenstern en John von Neumann, documental producido por la Asociación Matemática de Estados Unidos, 1966; Robert D. Richtmyer, *People Don't Do Arithmetic*, inédito, 1995.
- [\[129\]](#) Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN; Abraham Flexner a Oswald Veblen, 26 de julio de 1938, en Beatrice Stern, *A History of the Institute for Advanced Study, 1930-1950*, vol. 1, p. 396.
- [\[130\]](#) Marina von Neumann Whitman, entrevista, 3 de mayo de 2010 [GBD]; John von Neumann a Klára von Neumann, 25 de octubre de 1946, KVN.
- [\[131\]](#) Cuthbert C. Hurd, entrevista con Nancy Stern, 20 de enero de 1981, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 76.
- [\[132\]](#) Marina von Neumann Whitman, entrevista, 9 de febrero de 2006 [GBD]; Herman Goldstine, entrevista con Albert Tucker y Frederik Nebeker, 22 de marzo de 1985, *The Princeton Mathematics Community in the 1930s*, transcripción 15.
- [\[133\]](#) John von Neumann a F. B. Silsbee, 2 de julio de 1945 [VNBC].
- [\[134\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, p. 78.
- [\[135\]](#) Herman Goldstine, *The Computer from Pascal to Von Neumann*, Princeton University Press, Princeton, 1972, p. 176; Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, pp. 231-232; John von Neumann a Saunders Mac Lañe, 17 de mayo de 1948 [VNBC]; Stanislaw Ulam, «John von Neumann: 1903-1957», parte 2, mayo de 1958, p. 5; Lewis Strauss a Stanislaw Ulam, 12 de noviembre de 1957 [SUAPS].
- [\[136\]](#) John von Neumann a Stan Ulam, 8 de noviembre de 1940 [SFU].
- [\[137\]](#) John von Neumann a J. Robert Oppenheimer, 19 de febrero de 1948 [VNBC]; John von Neumann a L. Roy Wilcox, 26 de diciembre de 1941, KVN.
- [\[138\]](#) John von Neumann, «Theory of Shock Waves», informe de progreso al Comité de Investigación de Defensa Nacional, 31 de agosto de 1942; reprod. en *Collected Works, Vol. VI: Theory of Gantes, Astrophysics, Hydrodynamics and Meteorology*, Pergamon Press, Oxford, 1963, p. 19.
- [\[139\]](#) Martin Schwarzschild, entrevista con William Aspray, 18 de noviembre de 1986, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 124.
- [\[140\]](#) John von Neumann, «Oblique Reflection of Shocks», Informe de Investigación sobre Explosivos n.º 12, Departamento de Marina, Oficina de Armamento, 12 de octubre de 1943; reprod. en *Collected Works, Vol. VI: Theory of Gantes, Astrophysics, Hydrodynamics and Meteorology*, Pergamon Press, Oxford, 1963, p. 22.
- [\[141\]](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [\[142\]](#) John von Neumann a John Todd, 17 de noviembre de 1947, en John Todd, «John von Neumann and the National Accounting Machine», *SIAM Review*, vol. 16, n.º 4, octubre de 1974, p. 526.
- [\[143\]](#) Nicholas Metrópolis y E. O Nelson, «Early Computing at Los Alamos», *Annals of the History of Computing*, vol. 4, n.º 4, octubre de 1982, p. 352.
- [\[144\]](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 22 de septiembre de 1943, KVN; John von Neumann a Klára von Neumann, 24 de septiembre de 1943, KVN.
- [\[145\]](#) Nicholas Metrópolis y Francis H. Harlow, «Computing and Computers: Weapons Simulation Leads to the Computer Era», *Los Alamos Science*, vol. 7, invierno-primavera de 1983, p. 132.
- [\[146\]](#) Richard P. Feynman, «Los Alamos from Below: Reminiscences of 1943-1945», *Engineering and Science*, vol. 39, n.º 2, enero-febrero de 1976, p. 25.
- [\[147\]](#) Nicholas Metrópolis y Francis H. Harlow, «Computing and Computers: Weapons Simulation Leads to the Computer Era», *Los Alamos Science*, vol. 7, invierno-primavera de 1983, p. 134.

- [148] Richard P. Feynman, «Los Alamos from Below: Reminiscences of 1943-1945», *Engineering and Science*, vol. 39, n.º 2, enero-febrero de 1976, p. 25.
- [149] Nicholas Metrópolis y E. O Nelson, «Early Computing at Los Alamos», *Annals of the History of Computing*, vol. 4, n.º 4, octubre de 1982, p. 351.
- [150] Richard P. Feynman, «Los Alamos from Below: Reminiscences of 1943-1945», *Engineering and Science*, vol. 39, n.º 2, enero-febrero de 1976, p. 28.
- [151] Kl ra von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [152] «Allocution Pronounced by the Reverend Dom Anselm Strittmatter at the Obsequies of Professor John von Neumann, in the chapel of Walter Reed Hospital, February 11, 1957», reprod. en Nicholas Vonneumann, *John von Neumann as Seen by His Brother*, Nicholas Vonneumann, Meadowbrook (PA), 1987, p. 64.
- [153] Nicholas Vonneumann, *John von Neumann as Seen by His Brother*, Nicholas Vonneumann, Meadowbrook (PA), 1987, pp. 14-15.
- [154] Kl ra von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [155] *Ibidem* .
- [156] Marina von Neumann a Kl ra von Neumann, 28 de agosto de 1945, KVN.
- [157] «Minutes of the Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Meeting #1, 12 November 1945», IAS.
- [158] Vladimir Zworykin, autobiografía inédita, s.f, c. 1975, p. 24, cortesía de Bogdan Maglich.
- [159] Grabación para el doctor Craig Waff de la conversación con el doctor Zworykin, 4 de septiembre de 1976, en Bogdan Maglich, biografía inédita de Zworykin.
- [160] Jan Rajchman, «Vladimir Kosma Zworykin, 1889-1982», *Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences*, vol. 88, National Academies Press, Washington, 2006, p. 12.
- [161] Herbert H. Maass a Frank Aydelotte, 17 de octubre de 1945, IAS.
- [162] Agente especial al mando Newark al director del FBI, 6 de diciembre de 1956, cit. en Albert Abramson, *Zworykin, Pioneer of Televisión*, University of Illinois Press, Urbana (IL) y Chicago, 1995, p. 199.
- [163] Vladimir K. Zworykin, «Some Prospects in the Field of Electronics», *Journal of the Franklin Institute*, vol. 251, n.º 1, enero de 1951, pp. 235-236.
- [164] Jan Rajchman, «Early Research on Computers at RCA», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 465.
- [165] Jan Rajchman, entrevista con Richard R. Mertz, 26 de octubre de 1970, Museo Nacional de Historia Estadounidense, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador.
- [166] Richard L. Snyder, Jr. y Jan A. Rajchman, «Calculating Device: Patent No. 2.424.389», patente solicitada el 30 julio de 1943 y concedida el 22 de julio de 1947; Jan Rajchman, entrevista con Richard R. Mertz, 26 de octubre de 1970, Museo Nacional de Historia Estadounidense, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador.
- [167] Jan Rajchman, «The Selectron», en Martin Campbell-Kelly y Michael R. Williams (eds.), *The Moore School Lectures (1946)*, Instituto Charles Babbage, Reprint Series n.º 9, MIT Press, Cambridge (MA), 1985, p. 497.
- [168] Jan Rajchman, «Early Research on Computers at RCA», p. 466; Jan Rajchman, entrevista con Richard R. Mertz, 26 de octubre de 1970; Jan A. Rajchman, «Electronic Computing Device, United States Patent Office Patent Number 2.428.811», patente solicitada el 30 de octubre de 1943 y concedida el 14 de octubre de 1947, asignada a RCA.
- [169] Jan Rajchman, entrevista con Richard R. Mertz, 26 de octubre, Museo Nacional de Historia Estadounidense, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador.
- [170] Herman Goldstine, 16 de agosto de 1944, en *The Computer from Pascal to Von Neumann*, Princeton University Press, Princeton, 1972, p. 166.
- [171] Herman Goldstine, entrevista con Albert Tucker y Frederik Nebeker, 22 de marzo de 1985; *Ibidem*.

- [\[1721\]](#) «Report on History» («setting forth very briefly the relationship of the ENIAC, EDVAC and the Institute machine») de Herman H. Goldstine y John von Neumann al coronel G. F. Powell, 15 de febrero de 1947, I AS.
- [\[1731\]](#) Willis Ware, entrevista, 23 de enero de 2004 [GBD]; J. Presper Eckert, entrevista con Nancy Stern, 28 de octubre de 1977, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 13.
- [\[1741\]](#) John W. Mauchly, *The Use of High Speed Vacuum Tube Devices for Calculating*, agosto de 1942, reprod. en Brian Randell (ed.), *The Origins of Digital Computers: Selected Papers*, Springer-Verlag, Nueva York, 1982, pp. 355-358.
- [\[1751\]](#) Nicholas Metrópolis, «The Beginning of the Monte Carlo Method», en *Stanislaw Ulam, 1909-1984 (Los Alamos Science*, n.º 15, número especial), Laboratorio Científico de Los Alamos, Los Alamos (NM), 1987, p. 125.
- [\[1761\]](#) John G. Brainerd, «Génesis of the ENIAC», *Technology and Culture*, vol. 17, n.º 3, julio de 1976, p. 487.
- [\[1771\]](#) Harry L. Reed, 14 de noviembre de 1996, en Thomas Bergin (ed.), *50 Years of Army Computing: From ENIAC to MSRC. A Record of a Conference Held at Aberdeen Proving Ground, Maryland, on November 13 and 14, 1996*, Laboratorio de Investigación del Ejército de Estados Unidos, Aberdeen (MD), 2000, p. 153; Jan Rajchman, entrevista con Mark Heyer y Al Pinsky, 11 de julio de 1975, Proyecto de Historia Oral del IEEE.
- [\[1781\]](#) J. Presper Eckert, «The ENIAC», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 528; Karl Kempf, *Electronic Computers within the Ordnance Corps*, Oficina de Historia, Campo de Pruebas de Aberdeen (MD), noviembre de 1961.
- [\[1791\]](#) John von Neumann, «Memo on Mechanical Computing Devices», nota al coronel L. E. Simón, Laboratorio de Investigación Balística, 30 de enero de 1945 [VNBC]; Nicholas Metrópolis a Klára von Neumann, 15 de febrero de 1949, KVN; Nicholas Metrópolis, «The Los Alamos Experience, 1943-1954», en Stephen G. Nash (ed.), *A History of Scientific Computing*, ACM Press, Nueva York, 1990, p. 237.
- [\[1801\]](#) John G. Brainerd, «Génesis of the ENIAC», *Technology and Culture*, vol. 17, n.º 3, julio de 1976, p. 488; Herman Goldstine, *The Computer from Pascal to Von Neumann*, Princeton University Press, Princeton, 1972, p. 149.
- [\[1811\]](#) Departamento de Guerra del Ejército de Estados Unidos, Oficina de Relaciones Públicas, nota de prensa, *Ordnance Department Develops All-Electronic Calculating Machine*, 16 de febrero de 1946; Samuel H. Caldwell a Warren Weaver, 16 de enero de 1946 [FR].
- [\[1821\]](#) Herman Goldstine, entrevista con Albert Tucker y Frederik Nebeker, 22 de marzo de 1985, *The Princeton Mathematics Community in the 1930s*, transcripción 15; Herman Goldstine, 13 de noviembre de 1996, en Thomas Bergin (ed.), *50 Years of Army Computing: From ENIAC to MSRC...*, Laboratorio de Investigación del Ejército de Estados Unidos, Aberdeen (MD), 2000, p. 33.
- [\[1831\]](#) J. Presper Eckert, «The ENIAC», Academic Press, Nueva York, 1980, p. 525.
- [\[1841\]](#) Herman H. Goldstine, «Remembrance of Things Past», en Stephen G. Nash (ed.), *A History of Scientific Computing*, ACM Press, Nueva York, 1990, p. 9.
- [\[1851\]](#) J. Presper Eckert, entrevista con Nancy Stern, 28 de octubre de 1977, Historia Oral n.º 13.
- [\[1861\]](#) John W. Mauchly, «The ENIAC», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 545; *Ibidem*, pp. 547-548.
- [\[1871\]](#) John von Neumann, conferencia pronunciada en la Universidad de Illinois, diciembre de 1949, en Arthur Burks (ed.), *Theory of Self-Reproducing Automata*, University of Illinois Press, Urbana (IL), 1966, p. 40.
- [\[1881\]](#) Arthur W. y Alice R. Burks, entrevista con Nancy Stern, 20 de junio de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 75.
- [\[1891\]](#) «Summary of Honeywell Inc. vs. Sperry Rand Corp., n.º 4-67 Civ. 138, Decided Oct. 19, 1973», *United States Patents Quarterly*, n.º 180, 25 de marzo de 1974, pp. 682 y 693-694.
- [\[1901\]](#) John W. Mauchly, «The ENIAC», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 547.

- [1911] «Report on History», 15 de febrero de 1947, IAS.
- [1921] John von Neumann a Warren Weaver, 2 de noviembre de 1945 [FR]; M. H. A. Newman, cit. por I. J. Good en «Turing and the Computer», *Nature*, vol. 307, 1 de febrero de 1984, p. 663.
- [1931] «Report on History», 15 de febrero de 1947, IAS.
- [1941] Jan Rajchman, entrevista con Richard R. Mertz, 26 de octubre de 1970, Museo Nacional de Historia Estadounidense, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador.
- [1951] John von Neumann a J. Robert Oppenheimer, 1 de agosto de 1944 [LA].
- [1961] John W. Mauchly, carta al director, *Datamation*, vol. 25, n.º 11, 1979.
- [1971] Herman Goldstine, entrevista con Nancy Stern, 11 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 18.
- [1981] John von Neumann, «First Draft of a Report on the EDVAC», contrato n.º W-670-ORD-4926 entre el Departamento de Armamento del Ejército de Estados Unidos y la Universidad de Pensilvania, Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Pensilvania, 30 de junio de 1945, p. 1.
- [1991] John von Neumann a M. H. A. Newman, 19 de marzo de 1946 [VNBC].
- [2001] Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 3.
- [2011] John W. Mauchly, *Datamation*, vol. 25, n.º 11, 1979.
- [2021] J. Presper Eckert, entrevista con Nancy Stern, 28 de octubre de 1977, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 13.
- [2031] John von Neumann a Stanley Frankel, 29 de octubre de 1946 [VNBC].
- [2041] John von Neumann, declaración relativa al informe sobre el ED-VAC, s.f., 1947, IAS.
- [2051] Willis H. Ware, «The History and Development of the Electronic Computer Project at the Institute for Advanced Study», Corporación RAND, memorando P-377, 10 de marzo de 1953, p. 6; Arthur W. Burks, entrevista con William Aspray, 20 de junio de 1987, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 136.
- [2061] Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 37.
- [2071] Acuerdo de prestación de servicios entre Von Neumann e IBM, 1 de mayo de 1945 [VNBC]; J. Presper Eckert, entrevista con Nancy Stern, 28 de octubre de 1977, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 13.
- [2081] John von Neumann a Stanley Frankel, 29 de octubre de 1946 [VNBC].
- [2091] John von Neumann, «First Draft of a Report on the EDVAC», Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Pensilvania, 30 de junio de 1945, p. 74.
- [2101] Julian H. Bigelow, «Report on Computer Development at the Institute for Advanced Study», elaborado para el Congreso Internacional de Investigación sobre Historia de la Informática, Los Alamos, 10-15 de junio de 1976, borrador, s.f. (el texto citado fue suprimido en la versión impresa) QHB]; Norbert Wiener a John von Neumann, 24 de marzo de 1945 [VNBC].
- [2111] James B. Conant a Frank Aydelotte, 31 de octubre de 1945, IAS. James Alexander a Frank Aydelotte, 25 de agosto de 1945, IAS.
- [2121] Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense; Frank Aydelotte a James W. Alexander, 22 de agosto de 1945, IAS; Informe del Comité de Investigación Angloamericano, 20 de abril de 1946 (Washington D. O., Departamento de Estado, 1946). Transcrito en <http://avalon.law.yale.edu/subject=menus/angtoc.asp>.
- [2131] Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN; E. A. Lowe a Frank Aydelotte, 10 de octubre de 1947, IAS.

- [\[214\]](#) Frank Aydelotte a John von Neumann, 22 de enero de 1946, IAS; Actas de la Escuela de Matemáticas, 2 de junio de 1945, IAS.
- [\[215\]](#) John von Neumann a Frank Aydelotte, 5 de agosto de 1945, IAS.
- [\[216\]](#) Frank Aydelotte a Samuel S. Fels, 12 de septiembre de 1945, IAS.
- [\[217\]](#) Warren Weaver a Frank Aydelotte, 1 de octubre de 1945, IAS.
- [\[218\]](#) John von Neumann a Warren Weaver, 2 de noviembre de 1945 [FR].
- [\[219\]](#) Marston Morse a Warren Weaver, 15 de enero de 1946 [FR].
- [\[220\]](#) Samuel H. Caldwell a Warren Weaver, 16 de enero de 1946 [FR].
- [\[221\]](#) John von Neumann a Lewis L. Strauss, 20 de octubre de 1945, LAS.
- [\[222\]](#) John von Neumann a Lewis L. Strauss, 24 de octubre de 1945, LAS.
- [\[223\]](#) Herman H. Goldstine, memorando a Fleming, 20 de abril de 1951, IAS.
- [\[224\]](#) James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 31.
- [\[225\]](#) J. Presper Eckert, entrevista con Nancy Stern, 28 de octubre de 1977, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 13.
- [\[226\]](#) Stanley Frankel a Brian Randell, 1972, en Brian Randell, «On Alan Turing and the Origins of Digital Computers», *Machine Intelligence*, n.º 7, 1972, p. 10.
- [\[227\]](#) Klára von Neumann, *The Computer*, c. 1963, KVN
- [\[228\]](#) Abraham Flexner a Herbert Maass, 15 de diciembre de 1937', IAS; Abraham Flexner a Louis Bamberger, 1 de diciembre de 1932, IAS.
- [\[229\]](#) Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN.
- [\[230\]](#) Abraham Flexner a Oswald Veblen, 6 de enero de 1937, IAS; Abraham Flexner a Frank Aydelotte, 7 de agosto de 1938, IAS.
- [\[231\]](#) James Hudson, *Clouds of Glory: American Airmen Who Flew With the British During the Great War*, University of Arkansas Press, Fayetteville y Londres, 1990, p. 34.
- [\[232\]](#) Actas de la reunión del Comité Permanente del Cuerpo Docente, 18 de febrero de 1946, IAS.
- [\[233\]](#) Bernetta Miller, cit. por Joseph Felsenstein, entrevista con el autor, 20 de marzo de 2007 [GBD]; Joseph Felsenstein, entrevista con el autor, 20 de marzo de 2007 [GBD].
- [\[234\]](#) Bernetta Miller, «Report on IAS Food Conservation», 17 de mayo de 1946, IAS.
- [\[235\]](#) Bernetta Miller a Frank Aydelotte, 3 de septiembre de 1946, IAS; Bernetta Miller a Frank Aydelotte y J. Robert Oppenheimer, 24 de septiembre de 1947; Bernetta Miller a J. Robert Oppenheimer, 3 de diciembre de 1947, IAS.
- [\[236\]](#) Bernetta Miller, cit. por Joseph Felsenstein, entrevista con el autor, 20 de marzo de 2007 [GBD].
- [\[237\]](#) Oswald Veblen, «Remarks on the foundations of geometry», 31 de diciembre de 1924, en *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 31, n.º 3-4, 1925, p. 141.
- [\[238\]](#) Stanislaw Ulam, *Conversations with Gian-Carlo Rota*, transcripciones inéditas de Françoise Ulam, recopiladas en 1985 [SFU].
- [\[239\]](#) John von Neumann a Kurt Gödel, 30 de noviembre de 1930, en Solomon Feferman (ed.), *Collected Works*, vol. V, Oxford University Press, Oxford, 2003, p. 337.
- [\[240\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, p. 76.
- [\[241\]](#) John von Neumann, observaciones realizadas en la entrega del Premio Einstein a Kurt Gödel en Princeton, marzo de 1951, IAS.
- [\[242\]](#) Kurt Gödel, «Über formal unentscheidbare Sätze der *Principia Mathematica* und verwandter Systeme I», *Monatshefte für Mathematik und Physik*, vol. 38, 1931; trad. ingl.: «On Formally Undecidable Propositions

of *Principia Mathematica* and Related Systems I», en *Complete Works*, Oxford University Press, Oxford, 1986, vol. 1, p. 147.

[\[243\]](#) Frank Aydelotte al doctor Max Gruenthal, 5 de diciembre de 1941, IAS; Marston Morse, Actas de la Escuela de Matemáticas del IAS, 14 de febrero de 1950, IAS.

[\[244\]](#) A. M. Warren a Abraham Flexner, 10 de octubre de 1939, IAS.

[\[245\]](#) John von Neumann a Abraham Flexner, 27 de septiembre de 1939, IAS.

[\[246\]](#) Kurt Gödel a Frank Aydelotte, 5 de enero de 1940, IAS.

[\[247\]](#) Stan Ulam a John von Neumann, 18 de junio de 1940 [VNBC].

[\[248\]](#) Frank Aydelotte a Herbert Maass, 29 de septiembre de 1942, IAS; Bernetta Miller al Departamento de Vehículos de Motor, 4 de junio de 1943, IAS.

[\[249\]](#) Frank Aydelotte, memorando al Comité Permanente, 25 de diciembre de 1941, IAS.

[\[250\]](#) Kurt Gödel a Earl Harrison, Departamento de Justicia, 12 de marzo de 1942, IAS.

[\[251\]](#) Earl G. Harrison a Kurt Gödel, 19 de marzo de 1942, IAS; Frank Aydelotte a Benjamin F. Havens, 21 de marzo de 1942, IAS.

[\[252\]](#) Benjamin F. Havens a Frank Aydelotte, 27 de marzo de 1942, IAS.

[\[253\]](#) Alan M. Turing a la secretaria (Gwen) Blake, IAS, 16 de diciembre de 1941, IAS.

[\[254\]](#) Frank Aydelotte a Max Gruenthal, 5 de diciembre de 1941, IAS.

[\[255\]](#) Frank Aydelotte a Max Gruenthal, 2 de diciembre de 1941, IAS; Max Gruenthal a Frank Aydelotte, 4 de diciembre de 1941, IAS.

[\[256\]](#) Frank Aydelotte a la Junta del Servicio Militar, 14 de abril de 1943, IAS.

[\[257\]](#) Cevillie O. Jones a Frank Aydelotte, 20 de abril de 1943, IAS.

[\[258\]](#) Frank Aydelotte a la Junta del Servicio Militar, 19 de mayo de 1943, IAS.

[\[259\]](#) John von Neumann a Oswald Veblen, 30 de noviembre de 1945 [OVBC].

[\[260\]](#) «Notes on Kurt Gödel», 17 de marzo de 1948, IAS.

[\[261\]](#) Kurt Gödel a J. Robert Oppenheimer, 6 de septiembre de 1949, IAS.

[\[262\]](#) Stanislaw Ulam a Solomon Feferman, 13 de julio de 1983 [SUAPS]; John von Neumann a Oswald Veblen, 30 de noviembre de 1945 [OVBC].

[\[263\]](#) Arthur W. y Alice R. Burks, entrevista con Nancy Stern, 20 de junio de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 75.

[\[264\]](#) Oswald Veblen a Frank Aydelotte, 12 de septiembre de 1941, IAS.

[\[265\]](#) Frank Aydelotte, apéndice al informe del director, 24 de febrero de 1941, IAS.

[\[266\]](#) Actas de la reunión de profesores de la Escuela de Matemáticas, 13 de febrero de 1946, IAS.

[\[267\]](#) Arthur W. y Alice R. Burks, entrevista con Nancy Stern, 20 de junio de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 75.

[\[268\]](#) Arthur W. Burks, Herman H. Goldstine y John von Neumann, *Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton (NJ), 28 de junio de 1946, p. 53.

[\[269\]](#) Herman H. Goldstine al coronel G. F. Powell, Oficina del Jefe de Armamento, 12 de mayo de 1947, IAS.

[\[270\]](#) Norbert Wiener, «Back to Leibniz!», *Technology Review*, n.º 34, 1932, p. 201; Norbert Wiener, «Quantum mechanics, Haldane, and Leibniz», *Philosophy of Science*, vol. 1, n.º 4, octubre de 1934, p. 480.

[\[271\]](#) G. W. Leibniz a Henry Oldenburg, 18 de diciembre de 1675, en H. W. Turnbull (ed.), *The Correspondence of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1959, vol. 1, p. 401; G. W. Leibniz, suplemento a una carta a Christiaan Huygens, 8 de septiembre de 1679, en *Philosophical Papers and Letters*, trad. y ed. de Leroy E. Loemker, University of Chicago Press, Chicago, 1956, vol. 1, pp. 384-385.

- [2721] G. W. Leibniz a Nicolás Remond, 10 de enero de 1714, en *ibidem*, vol. 2, p. 1.063; G. W. Leibniz, c. 1679, en *ibidem*, vol. 1, p. 342.
- [2731] G. W. Leibniz, c. 1679, en *ibidem*, vol. 1, p. 344.
- [2741] G. W. Leibniz, «Discourse on the Natural Theology of the Chinese» (trad. de «Lettre sur la philosophie chinoise á Nicolás de Remond», 1716), trad. y ed. de Henry Rosemont, Jr., y Daniel J. Cook, *Monograph of the Society for Asian and Comparative Philosophy*, n.º 4, University of Hawai Press, Honolulu, 1977, p. 158.
- [2751] G. W. Leibniz, «De progressionem dyadica. Pars I», manuscrito, 15 de marzo de 1679, publicado en ed. facsímil (con trad. alemana) en Erich Hochstetter y Hermann-Josef Greve (eds.), *Herrn von Leibniz' Rechnung mit Null und Eins*, Siemens Aktiengesellschaft, Berlín, 1966, pp. 46-47.
- [2761] Arthur W. Burks, Herman H. Goldstine y John von Neumann, *Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton (NJ), 28 de junio de 1946, p. 9.
- [2771] John von Neumann y Herman H. Goldstine, «On the Principles of Large Scale Computing Machines» (charla al Grupo Asesor de Computación Matemática, Oficina de Investigación e Inventos, Departamento de Marina, Washington, 15 de mayo de 1946), en *Collected Works: Vol. V: Design of Computers, Theory of Automata and Numerical Analysis*, Pergamon Press, Oxford, 1963, p. 32.
- [2781] Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 3.
- [2791] Martin Davis, *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*, W. W. Norton, Nueva York, 2000, p. 113.
- [2801] Kurt Gödel a Arthur W. Burks, s.f., en Arthur Burks (ed.), *Theory of Self-Reproducing Automata*, University of Illinois Press, Urbana (IL), 1966, p. 56.
- [2811] G. W. Leibniz a Rudolph August, duque de Brunswick, 2 de enero de 1697, trad. ingl. en Antón Glaser, *History of Binary and other Nondecimal Numeration*, Tomash, Los Ángeles, 1981, p. 31.
- [2821] Kurt Gödel a Marianne Gödel, 6 de octubre de 1961, en Solomon Feferman (ed.), *Collected Works*, vol. IV, Oxford University Press, Oxford, 2003, pp. 437-438.
- [2831] Alice Bigelow, entrevista, 24 de mayo de 2009 [GBD].
- [2841] Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.
- [2851] *Ibidem*.
- [2861] Julian Bigelow, entrevista con Walter Hellman, 10 de junio de 1979, en Walter Daniel Hellman, «Norbert Wiener and the Growth of Negative Feedback in Scientific Explanation», tesis doctoral, Universidad Estatal de Oregón, 16 de diciembre de 1981, p. 148.
- [2871] Norbert Wiener, *Ex-Prodigy*, Simón & Schuster, Nueva York, 1953, pp. 268-269; Julian Bigelow a John von Neumann, 26 de noviembre de 1946 [VNBC].
- [2881] Norbert Wiener a Vannevar Bush, 21 de septiembre de 1940, en Norbert Wiener, *Collected Works*, ed. de Pesi R. Masani, MIT Press, Boston, 1985, vol. 4, p. 124.
- [2891] Norbert Wiener, «Principles governing the construction of prediction and compensating apparatus», presentado en colaboración con S. H. Caldwell a la Sección D2 del Comité de Investigación de Defensa Nacional, 22 de noviembre de 1940, reprod. en Pesi R. Masani, *Norbert Wiener: 1894-1964*, Birkhauser, Basilea, 1990, p. 182.
- [2901] Norbert Wiener y Julian H. Bigelow, «Report on D.I.C. Project #5980: Anti-Aircraft Directors. Analysis of the Flight Path Prediction Problem, including a Fundamental Design Formulation and Theory of the Linear Instrument», Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), 24 de febrero de 1941, pp. 38-39 QHB].

- [\[2911\]](#) Norbert Wiener, «Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series, with Engineering Applications», informe clasificado al Comité de Investigación de Defensa Nacional, 1 de febrero de 1942 (ed. desclasificada: MIT Press, Boston, 1949), p. 2.
- [\[2921\]](#) Norbert Wiener, *I Am a Mathematician*, Doubleday, Nueva York, 1956, p. 243; Alice Bigelow, entrevista, 24 de mayo de 2009 [GBD].
- [\[2931\]](#) Jule Charney, «Conversations with George Platzman», grabado en agosto de 1980, en R. Lindzen, E. Lorenz y G. Platzman (eds.), *The Atmosphere. A Challenge: The Science of Jule Gregory Charney*, Sociedad Meteorológica Estadounidense, Boston (MA), 1990, p. 47.
- [\[2941\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Fio Conway y Jim Siegelman, 30 de octubre de 1999.
- [\[2951\]](#) *Ibidem* .
- [\[2961\]](#) Julian Bigelow a Warren Weaver, 2 de diciembre de 1941 QHB].
- [\[2971\]](#) *Ibidem* .
- [\[2981\]](#) *Ibidem* .
- [\[2991\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Fio Conway y Jim Siegelman, 30 de octubre de 1999.
- [\[3001\]](#) *Ibidem* .
- [\[3011\]](#) Norbert Wiener, *I Am a Mathematician*, Doubleday, Nueva York, 1956, p. 249.
- [\[3021\]](#) George Stibitz, «Diario de la Presidencia, 1 de julio de 1942», en Peter Galison, «The Ontology of the Enemy: Norbert Wiener and the Cybernetic Vision», *Critical Inquiry*, vol. 21, n.º 1, otoño de 1994, p. 243.
- [\[3031\]](#) Julian Bigelow, Arturo Rosenblueth y Norbert Wiener, «Behavior, Purpose and Teleology», *Philosophy of Science*, vol. 10, n.º 1, 1943, pp. 9 y 23-24.
- [\[3041\]](#) Warren S. McCulloch, «The Imitation of One Form of Life by Another. Biomimesis», en Eugene E. Bernard y Morley R. Kare (eds.), *Biological Prototypes and Synthetic Systems. Proceedings of the Second Annual Bionics Symposium Sponsored by Cornell University and the General Electric Company, Advanced Electronics Center, Held at Cornell University, August 30-September 1, 1961*, Plenum Press, Nueva York, 1962, vol. 1, p. 393.
- [\[3051\]](#) W. A. Wallis e Ingram Olkin, «A Conversation with W. Allen Wallis», *Statistical Science*, vol. 6, n.º 2, mayo de 1991, p. 124.
- [\[3061\]](#) Norbert Wiener, *I Am a Mathematician*, Doubleday, Nueva York, 1956, p. 243.
- [\[3071\]](#) Frank Aydelotte a Julian Bigelow, 3 de septiembre de 1946, IAS.
- [\[3081\]](#) Verena Huber-Dyson, nota para el funeral de Julian Bigelow, 29 de marzo de 2003 [GBD].
- [\[3091\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981.
- [\[3101\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980.
- [\[3111\]](#) Ralph Slutz, entrevista con Christopher Evans, junio de 1976, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 086.
- [\[3121\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 37.
- [\[3131\]](#) Akrevoe Kondopria Emmanouilides, entrevista, 22 de enero de 2004 [GBD].
- [\[3141\]](#) Frank Aydelotte a John von Neumann, 4 de junio de 1946, IAS.
- [\[3151\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971.
- [\[3161\]](#) Julian H. Bigelow, «Report on Computer Development at the IAS, for the International Research Conference on the History of Computing, Los Alamos, June 10-15, 1976».
- [\[3171\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981; «History and Development of the Electronic Computer Project», Corporación RAND, memorando P-377, 10 de marzo de 1953, p. 8.
- [\[3181\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981; Ralph Slutz, entrevista con Christopher Evans, junio de 1976; Bernetta Miller, «Electronic Computer Project Statement of Expenditures from Beginning November 1945 to May 31, 1946», 4 de junio de 1946, IAS.

- [\[319\]](#) Willis H. Ware, «History and Development of the Electronic Computer Project», memorando P-377, 10 de marzo de 1953, p. 8.
- [\[320\]](#) Klára von Neumann, *The Computer*, c. 1963, KVN; Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971.
- [\[321\]](#) Benjamin D. Meritt a Frank Aydelotte, 29 de agosto de 1946, IAS.
- [\[322\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 37.
- [\[323\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.
- [\[324\]](#) *Ibidem* .
- [\[325\]](#) Herman H. Goldstine a John von Neumann, 28 de julio de 1947, IAS.
- [\[326\]](#) Frank Aydelotte a Herbert H. Maass, 26 de mayo de 1946, IAS; Klára von Neumann, *The Computer*, c. 1963, KVN.
- [\[327\]](#) Arthur W. Burks, entrevista con William Aspray, 20 de junio de 1987; Frank Aydelotte a H. Chandlee Turner, 12 de julio de 1946, IAS.
- [\[328\]](#) Frank Aydelotte al coronel G. F. Powell, 25 de junio de 1946, IAS.
- [\[329\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.
- [\[330\]](#) Willis Ware, entrevista con el autor, 23 de enero de 2004 [GBD].
- [\[331\]](#) Morris Rubinoff, entrevista con Richard Mertz, 17 de mayo de 1971.
- [\[332\]](#) J. Robert Oppenheimer a John von Neumann, 11 de febrero de 1949, IAS.
- [\[333\]](#) Jack Rosenberg, entrevista, 12 de febrero de 2005 [GBD].
- [\[334\]](#) Julian Bigelow, «Computer Development at the Institute for Advanced Study», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 293.
- [\[335\]](#) Herman H. Goldstine a John von Neumann, 19 de julio de 1947, IAS.
- [\[336\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980.
- [\[337\]](#) Ralph Slutz, entrevista con Christopher Evans, junio de 1976.
- [\[338\]](#) Herman Goldstine, entrevista con Nancy Stern, 11 de agosto de 1980; Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980; Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971.
- [\[339\]](#) J. H. Bigelow, J. H. Pomerene, R. J. Slutz y W. Ware, «Interim Progress Report on the Physical Realization of an Electronic Computing Instrument», Instituto de Estudios Avanzados, Princeton (NJ), 1 de enero de 1947, p. 12.
- [\[340\]](#) Ralph Slutz, entrevista con Christopher Evans, junio de 1976.
- [\[341\]](#) James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980; Julian Bigelow, «Computer Development at the Institute for Advanced Study», p. 309.
- [\[342\]](#) Willis Ware, entrevista, 23 de enero de 2004; Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971; Julian Bigelow, «Computer Development...», p. 308.
- [\[343\]](#) «Report on Tubes in the Machine», 8 de febrero de 1953, IAS. Julian Bigelow, «Computer Development...», p. 307.
- [\[344\]](#) J. H. Bigelow, J. H. Pomerene, R. J. Slutz y W. Ware, «Interim Progress Report...», pp. 82-83.
- [\[345\]](#) Jack Rosenberg, entrevista, 12 de febrero de 2005 [GBD].
- [\[346\]](#) Jack Rosenberg, «The Computer Project», borrador inédito, 2 de febrero de 2002.
- [\[347\]](#) *Ibidem* .
- [\[348\]](#) Ralph Slutz, entrevista con Christopher Evans, junio de 1976, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 086.

- [349] J. H. Bigelow, J. H. Pomerene, R. J. Slutz y W. Ware, «Interim Progress Report...», pp. 15-16.
- [350] James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 33.
- [351] Andrew y Kathleen Booth, entrevista, 11 de marzo de 2004 [GBD].
- [352] *Ibidem* .
- [353] *Ibidem* .
- [354] *Ibidem* .
- [355] *Ibidem* .
- [356] *Ibidem* .
- [357] Herman Goldstine a John von Neumann, 25 de febrero de 1947, IAS; Andrew Booth a George Dyson, 26 de febrero de 2004.
- [358] Marston Morse, actas del Comité Permanente, 18 de marzo de 1946, IAS.
- [359] Frank Aydelotte, actas del Comité Permanente, 27 de junio de 1946, IAS.
- [360] *Ibidem* .
- [361] Frank Aydelotte, informe del director, 18 de octubre de 1946, IAS.
- [362] Stanley C. Smoyer, memorando a los administradores del IAS, 7 de agosto de 1946 [IAS-BS].
- [363] Julian H. Bigelow a Frank Aydelotte, 3 de julio de 1947, IAS.
- [364] Bernetta A. Miller a Frank Aydelotte, 19 de septiembre de 1947, IAS; Morris Rubinoff, entrevista con Richard Mertz, 17 de mayo de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.
- [365] Freeman Dyson, observaciones en el funeral de Julian Bigelow, 29 de marzo de 2003.
- [366] Morris Rubinoff, entrevista con Richard Mertz, 17 de mayo de 1971; Thelma Estrin, entrevista con Frederik Nebeker, Centro de Historia del IEEE, Universidad Rutgers, 24-25 de agosto de 1992.
- [367] Gerald y Thelma Estrin, entrevista, 14 de abril de 2005 [GBD].
- [368] James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 31.
- [369] Andrew D. Booth y Kathleen H. V. Britten, «General Considerations in the Design of an All-Purpose Electronic Digital Computer», 1947 OHB].
- [370] Julian Bigelow, «Computer Development at the Institute for Advanced Study», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 297.
- [371] James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980.
- [372] John von Neumann a Marston Morse, 1 de abril de 1946, IAS; «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Agreement Concerning Inventions», s.f., 1946, IAS.
- [373] Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980; Abraham Flexner, «University Patents», *Science*, vol. 77, n.º 1.996, 31 de marzo de 1933, p. 325.
- [374] Herman Goldstine a Bigelow, Hildebrandt, Melville, Pomerene, Slutz, Snyder y Ware, 6 de junio de 1947, IAS; Herman Goldstine a la Sección de Patentes de la Oficina del Jefe de Armamento, 10 de mayo de 1947, IAS; Declaración de Arthur W. Burks, Herman H. Goldstine y John von Neumann, s.f, junio de 1947, IAS.
- [375] Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 3.
- [376] *Ibidem* .
- [377] Irving J. Good, «Some Future Social Repercussions of Computen», *International Journal of Environmental Studies*, vol. 1, 1970, p. 69.

- [\[3781\]](#) William F. Gunning, «Rand's Digital Computer Effort», Corporación RAND, memorando P-363, 23 de febrero de 1953, p. 4.
- [\[3791\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report», julio y agosto de 1947, p. 2, IAS; «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report», febrero de 1948, p. 2, IAS.
- [\[3801\]](#) J. H. Bigelow, J. H. Pomerene, R. J. Slutz y W. Ware, «Interim Progress Report on the Physical Realization of an Electronic Computing Instrument», 1 de enero de 1947, p. 8, IAS.
- [\[3811\]](#) John von Neumann, «Memorandum to Commander R. Reville, Office of Naval Research, on the Character and Certain Applications of a Digital Electronic Computing Machine», 21 de octubre de 1947 [VNBC].
- [\[3821\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report», marzo de 1948, p. 2, IAS; Jack Rosenberg, nota a Julian Bigelow, 10 de abril de 1950, IAS.
- [\[3831\]](#) Willis Ware, entrevista, 23 de enero de 2004 [GBD].
- [\[3841\]](#) J. H. Bigelow, H. H. Goldstine, R. W. Melville, P. Panagos, J. H. Pomerene, J. Rosenberg, M. Rubinoff y W. H. Ware, «Fifth Interim Progress Report on the Physical Realization of an Electronic Computing Instrument», 1 de enero de 1949, p. 31, IAS.
- [\[3851\]](#) Herman Goldstine a John von Neumann, 2 de julio de 1947, IAS.
- [\[3861\]](#) F. C. Williams y T. Kilburn, «A Storage System for Use with Binary-Digital Computing Machines», borrador, 1 de diciembre de 1947, p. 1 OHB].
- [\[3871\]](#) Arthur W. Burks, Herman H. Goldstine y John von Neumann, *Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton (NJ), 28 de junio de 1946, p. 8; F. C. Williams y T. Kilburn, «A Storage System...», p. 1 QHB].
- [\[3881\]](#) Williams y Kilburn, «A Storage System...».
- [\[3891\]](#) *Ibidem* .
- [\[3901\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971.
- [\[3911\]](#) Julian Bigelow a F. C. Williams, 11 de septiembre de 1952 QHB].
- [\[3921\]](#) J. H. Bigelow, H. H. Goldstine, R. W. Melville, P. Panagos, J. H. Pomerene, J. Rosenberg, M. Rubinoff y W. H. Ware, «Fifth Interim Progress Report...», p. 2, IAS.
- [\[3931\]](#) *Ibidem* , p. 4.
- [\[3941\]](#) Julian Bigelow, «Computer Development at the Institute for Advanced Study», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 304; «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report», agosto de 1949, p. 4, IAS.
- [\[3951\]](#) Jack Rosenberg, entrevista con el autor, 12 de febrero de 2005 [GBD]; Julian Bigelow a Warren Weaver, 2 de diciembre de 1941 QHB].
- [\[3961\]](#) Morris Rubinoff, entrevista con Richard Mertz, 17 de mayo de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.
- [\[3971\]](#) J. H. Bigelow, T. W. Hildebrandt, P. Panagos, J. H. Pomerene, J. Rosenberg, R. J. Slutz y W. H. Ware, «Fourth Interim Progress Report on the Physical Realization of an Electronic Computing Instrument», 1 de julio de 1948, pp. 11-16-17, IAS.
- [\[3981\]](#) León D. Harmon, «Report of tests made on two groups of "Round Robin" Williams storage tubes at IAS», 6 de julio de 1953, IAS.
- [\[3991\]](#) James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980.
- [\[4001\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980.

- [\[4011\]](#) F. J. Gruenberger, «The History of the Johnniac», Corporación RAND, memorando RM-5654-PR, octubre de 1968, p. 22.
- [\[4021\]](#) Jan A. Rajchman, «Memo to V. K. Zworykin re: Status of work on Selectron up to Oct. 5, 1948», 5 de octubre de 1948 [RCA].
- [\[4031\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981.
- [\[4041\]](#) Herman H. Goldstine a Mina Rees, 7 de octubre de 1947 QHB].
- [\[4051\]](#) Jan Rajchman, entrevista con Richard R. Mertz, 26 de octubre de 1970; F. J. Gruenberger, «The History of the Johnniac», p. 25.
- [\[4061\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980.
- [\[4071\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971.
- [\[4081\]](#) Willis Ware, entrevista con el autor, 23 de enero de 2004 [GBD].
- [\[4091\]](#) James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980.
- [\[4101\]](#) «Power supply and cooling system for Electronic Computer Project», s.f., 1953, IAS.
- [\[4111\]](#) «Institute for Advanced Study Electrons Computer Project machine...», 1953, IAS.
- [\[4121\]](#) John von Neumann, memorando al comandante R. Revell, Oficina de Investigación Naval, 21 de octubre de 1947 [VNBC].
- [\[4131\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Machine and General Arithmetic Operating Logs», IAS.
- [\[4141\]](#) *Ibidem* .
- [\[4151\]](#) Morris Rubinoff, entrevista con Richard Mertz, 17 de mayo de 1971.
- [\[4161\]](#) James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 31.
- [\[4171\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981.
- [\[4181\]](#) *Ibidem* ; James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 31.
- [\[4191\]](#) Atle Selberg, entrevista, 11 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[4201\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 37.
- [\[4211\]](#) Morris Rubinoff, entrevista con Richard Mertz, 17 de mayo de 1971.
- [\[4221\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980.
- [\[4231\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971.
- [\[4241\]](#) *Ibidem* .
- [\[4251\]](#) *Ibidem* .
- [\[4261\]](#) Julian Bigelow, «Computer Development at the Institute for Advanced Study», Rota (eds.), Academic Press, Nueva York, p. 291.
- [\[4271\]](#) Frank Aydelotte a John von Neumann, 5 de junio de 1947, IAS.
- [\[4281\]](#) Philip Duncan Thompson, «A History of Numerical Weather Prediction in the United States», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 64, n.º 7, julio de 1983, p. 757.
- [\[4291\]](#) Philip Thompson, en John M. Lewis, «Philip Thompson: Pages from a Scientist's Life», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 77, n.º 1, enero de 1966, pp. 107-108.
- [\[4301\]](#) Lewis Richardson, cit. por Ernest Gold, «Lewis Fry Richardson, 1881-1953», *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, vol. 9, noviembre de 1954, p. 230.
- [\[4311\]](#) *Ibidem* , p. 222.

- [\[432\]](#) Meaburn Tatham y James E. Miles (eds.), *The Friends' Ambulance Unit 1914-1919: A Record*, Swarthmore Press, Londres, 1920, p. 212.
- [\[433\]](#) Olaf Stapledon a Agnes Miller, 8 de diciembre de 1916, en Robert Crossley (ed.), *Talking Across the World: The Love Letters of Olaf Stapledon and Agnes Miller, 1913-1919*, University Press of New England, Hannover y Londres, 1987, pp. 192-193.
- [\[434\]](#) Olaf Stapledon a Agnes Miller, 26 de diciembre de 1917, en *ibidem*, pp. 264-265.
- [\[435\]](#) Olaf Stapledon a Agnes Miller, 12 de enero de 1918, en *ibidem*, p. 270.
- [\[436\]](#) Lewis Fry Richardson, *Weather Prediction by Numerical Process*, Cambridge University Press, Cambridge, 1922, p. 219.
- [\[437\]](#) Lewis F. Richardson, «The Approximate Arithmetical Solution by Finite Differences of Physical Problems Involving Differential Equations, with an Application to the Stresses in a Masonry Dam», *Phil. Trans. Royal Soc. London A*, vol. 210, 1911, p. 307.
- [\[438\]](#) Lewis Fry Richardson, *Weather Prediction by Numerical Process*, Cambridge University Press, Cambridge, 1922, p. xi.
- [\[439\]](#) *Ibidem*, p. xm.
- [\[440\]](#) *Ibidem*, pp. 219 y xi.
- [\[441\]](#) Philip Duncan Thompson, «A History of Numerical Weather Prediction in the United States», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 64, n.º 7, julio de 1983, p. 757.
- [\[442\]](#) *Ibidem*, p. 758.
- [\[443\]](#) Philip Duncan Thompson, «Charney and the Revival of Numerical Weather Prediction», en R. Lindzen, E. Lorenz y G. Platzman (eds.), *The Atmosphere. A Challenge: The Science of Jule Gregory Charney*, Sociedad Meteorológica Estadounidense, Boston (MA), 1990, p. 98.
- [\[444\]](#) Akrevoe Kondopria Emmanouilides, entrevista, 3 de junio de 2003 [GBD]; Philip Thompson, entrevista con William Aspray, 5 de diciembre de 1986, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 125.
- [\[445\]](#) Frank Aydelotte, actas de la reunión del Comité Permanente, 13 de mayo de 1946, IAS; IAS, actas de la reunión del Comité Permanente, 20 de mayo de 1946; Frank Aydelotte, actas de la reunión del Comité Permanente, 13 de mayo de 1946, IAS.
- [\[446\]](#) Jule Charney a Stan Ulam, 6 de diciembre de 1957 [SUAPS].
- [\[447\]](#) Lewis Strauss, *Men and Decisions*, Doubleday, Carden City (NY), 1962, pp. 232-233.
- [\[448\]](#) Vladimir K. Zworykin, «Outline of Weather Proposal», Laboratorios RCA, Princeton, octubre de 1945, pp. 1 y 4; John von Neumann a Vladimir Zworykin, 24 de octubre de 1945 [RCA].
- [\[449\]](#) Lewis Strauss, *Men and Decisions*, pp. 233-234.
- [\[450\]](#) Sidney Shalett, «Electronics to Aid Weather Figuring», *New York Times*, 11 de enero de 1946, p. 12.
- [\[451\]](#) *Ibidem*.
- [\[452\]](#) Frank Aydelotte al capitán de corbeta D. F. Rex, Oficina de Investigación e Inventos de la Marina de Estados Unidos, 8 de mayo de 1946, IAS; John von Neumann a Lewis Strauss, 4 de mayo de 1946 [VNBC]; John von Neumann, «Can We Survive Technology?», *Fortune*, junio de 1955, p. 151.
- [\[453\]](#) Instituto de Estudios Avanzados, Conferencia sobre Meteorología, 29-30 de agosto de 1946, resumen s.f., p. 3 [VNBC].
- [\[454\]](#) Herman H. Goldstine, «Report on the Housing Situation for Meteorology Personnel», 15 de julio de 1946, IAS.
- [\[455\]](#) Philip Thompson y John von Neumann, «Meteorology Project Report of Progress During the Period from April 1, 1947 to December 15, 1947», p. 2, IAS.
- [\[456\]](#) Philip Thompson, entrevista con William Aspray, 5 de diciembre de 1986, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 125.

- [\[457\]](#) Jule Charney a Stanislaw Ulam, 6 de diciembre de 1957 [SUAPS].
- [\[458\]](#) Jule G. Charney, «Numerical Methods in Dynamical Meteorology», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 41, n.º 11, 15 de noviembre de 1955, p. 799.
- [\[459\]](#) Jule Charney a Stanislaw Ulam, 6 de diciembre de 1957 [SUAPS].
- [\[460\]](#) Joseph Smagorinsky, entrevista, 4 de mayo de 2004 [GBD]; Jule Charney, «Progress Report of the Meteorology Group at the IAS, June 1, 1948 to June 30, 1949», p. 2, IAS.
- [\[461\]](#) Jule Charney a Philip Thompson, 12 de febrero de 1947, en R. Lindzen, E. Lorenz y G. Platzman (eds.), *The Atmosphere. A Challenge: The Science of Jule Gregory Charney*, Sociedad Meteorológica Estadounidense, Boston (MA), 1990, p. 114.
- [\[462\]](#) Philip Thompson y John von Neumann, «Meteorology Project Report of Progress During the Period from April 1, 1947 to December 15, 1947», p. 10, IAS.
- [\[463\]](#) Margaret Smagorinsky, entrevista, 4 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[464\]](#) George W. Platzman, «The ENIAC Computation of 1950. Gateway to Numerical Weather Prediction», *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 60, n.º 4, abril de 1979, p. 307.
- [\[465\]](#) Jule Charney a George Platzman, 10 de abril de 1950, en *ibidem*, pp. 310-311.
- [\[466\]](#) George W. Platzman, «The ENIAC Computation of 1950...», p. 310; John von Neumann, J. G. Charney y R. Fjortoft, «Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation», *Tellus*, vol. 2, 1950, p. 275.
- [\[467\]](#) Jule G. Charney, «Numerical Methods in Dynamical Meteorology», p. 800.
- [\[468\]](#) Thelma Estrin, entrevista con Frederik Nebeker, Centro de Historia del IEEE, Universidad Rutgers, 24-25 de agosto de 1992; Raoul Bott, entrevista, 10 de marzo de 2005 [GBD].
- [\[469\]](#) Jule Charney, «Numerical Prediction of Cyclogenesis», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 40, 1954, p. 102.
- [\[470\]](#) Clarence D. Smith, «The Destructive Storm of November 25-27», *Monthly Weather Review*, vol. 78, noviembre de 1950, p. 204.
- [\[471\]](#) Jule Charney, «Conversations with George Platzman», grabado en agosto de 1980, en R. Lindzen, E. Lorenz y G. Platzman (eds.), *The Atmosphere. A Challenge: The Science of Jule Gregory Charney*, Sociedad Meteorológica Estadounidense, Boston (MA), 1990, p. 54.
- [\[472\]](#) Jule Charney, «Numerical Prediction of Cyclogenesis», p. 102.
- [\[473\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Machine Log», 27 de mayo de 1953, IAS.
- [\[474\]](#) Norman A. Phillips, «Progress Report of the Meteorology Group at the IAS, July 1, 1952 to September 30, 1952», p. 4, IAS, Harry Wexler al jefe del Servicio Meteorológico estadounidense, 11 de junio de 1953, en Joseph Smagorinsky, «The Beginnings of Numerical Weather Prediction and General Circulation Modeling: Early Reconstructions», *Advances in Geophysics*, vol. 25, 1983, p. 23.
- [\[475\]](#) Philip Thompson, entrevista con William Aspray, 5 de diciembre de 1986.
- [\[476\]](#) Joseph Smagorinsky, «The Beginnings of Numerical Weather Prediction...», p. 25; «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report: September, 1954», p. 3, IAS; «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report: March, 1955», p. 3, IAS.
- [\[477\]](#) Jule Charney a Stanislaw Ulam, 6 de diciembre de 1957 [SUAPS].
- [\[478\]](#) Richard L. Pfeffer (ed.), *Dynamics of Climate: The Proceedings of a Conference on the Application of Numerical Integration Techniques to the Problem of the General Circulation, Held October 26-28, 1955, at the Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey*, Pergamon Press, Nueva York, 1960, p. 3.
- [\[479\]](#) John von Neumann, «Some Remarks on the Problem of Forecasting Climatic Fluctuations», en *ibidem*, pp. 10-11.
- [\[480\]](#) Richard L. Pfeffer (ed.), *Dynamics of Climate...*, 1960, p. 132.

- [4811] *Ibidem* , pp. 133-136.
- [4821] *Ibidem* .
- [4831] Jule Charney, «Conversations with George Platzman», pp. 57-58.
- [4841] Jule Charney y Walter Munk, «The Applied Physical Sciences», charla en el XXV aniversario del Proyecto de Computador Electrónico del Instituto de Estudios Avanzados, 1972, IAS.
- [4851] *Ibidem* .
- [4861] John von Neumann, «Can We Survive Technology?», *Fortune*, junio de 1955, p. 151.
- [4871] Joseph Smagorinsky, «The Beginnings of Numerical Weather Prediction...», p. 29.
- [4881] Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [4891] Klára von Neumann, *The Grasshopper*, c. 1963, KVN.
- [4901] *Ibidem* .
- [4911] *Ibidem* .
- [4921] *Ibidem* .
- [4931] *Ibidem* .
- [4941] *Ibidem* .
- [4951] John Wheeler a Cari Eckart, 23 de noviembre de 1963, KVN.
- [4961] Klára von Neumann, *The Grasshopper*, c. 1963, KVN.
- [4971] *Ibidem* .
- [4981] Mariette von Neumann a John von Neumann, 22 de septiembre de 1937, en: Frank Tibor, «Double Divorce: The Case of Mariette and John von Neumann», *Nevada Historical Society Quarterly*, vol. 34, n.º 2, 1991, p. 361.
- [4991] *Ibidem* .
- [5001] Klára von Neumann a John von Neumann, 11 de noviembre de 1937, KVN.
- [5011] John von Neumann a Stanislaw Ulam, 22 de abril de 1938 [SFU].
- [5021] Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN.
- [5031] John von Neumann a Klára von Neumann, 14 de septiembre de 1938, KVN.
- [5041] John von Neumann a Klára von Neumann, 6 de septiembre de 1938, KVN.
- [5051] John von Neumann a Klára von Neumann, 5 de septiembre de 1938, KVN; John von Neumann a Klára von Neumann, 13 de septiembre de 1938, KVN.
- [5061] John von Neumann a Klára von Neumann, 18 de septiembre de 1938, KVN.
- [5071] Oskar Morgenstern, en *John von Neumann*, documental producido por la Asociación Matemática de Estados Unidos, 1966.
- [5081] Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN.
- [5091] Harry E. King, responsable de crédito del hotel y casino Essex, Nueva York, al Instituto de Estudios Avanzados, 24 de diciembre de 1938, IAS.
- [5101] Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1963, KVN.
- [5111] Willis Ware, entrevista, 23 de enero de 2004 [GBD].
- [5121] John von Neumann a Klára von Neumann, 10 de agosto de 1939, KVN.
- [5131] Jack Rosenberg, entrevista con el autor, 12 de febrero de 2005.
- [5141] Robert D. Richtmyer, «People Don't Do Arithmetic», inédito, 1995; Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, p. 79; Stanislaw Ulam, *Conversations with Gian-Carlo Rota*, transcripciones inéditas editadas por Françoise Ulam, 1985 [SFU].
- [5151] Jack Rosenberg, entrevista con el autor, 12 de febrero de 2005; Marina von Neumann Whitman, entrevista con el autor, 9 de febrero de 2006.
- [5161] Klára von Neumann a John von Neumann, s.f, c. 1949, KVN

- [\[517\]](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [\[518\]](#) *Ibidem* .
- [\[519\]](#) John von Neumann y Oswald Veblen a Frank Aydelotte, 23 de marzo de 1940, IAS.
- [\[520\]](#) *Ibidem* .
- [\[521\]](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [\[522\]](#) John von Neumann a Stanislaw Ulam, 2 de abril de 1942 [VNBC]; John von Neumann a Clara [Klára] von Neumann, 13 de abril de 1943 [KVN]; S. W. Hubbel [Oficina de Censura] a Clara [Klára] von Neumann, 13 de abril de 1943, IAS.
- [\[523\]](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [\[524\]](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 8 de mayo de 1945, KVN; John von Neumann a Klára von Neumann, 11 de mayo de 1945, KVN.
- [\[525\]](#) Nicholas Metrópolis, «The MANIAC», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 459; Edward Teller a John von Neumann, 9 de agosto de 1945, IAS.
- [\[526\]](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 4 de octubre de 1946, KVN.
- [\[527\]](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [\[528\]](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 15 de diciembre de 1945, KVN.
- [\[529\]](#) Klára von Neumann, *The Computer*.
- [\[530\]](#) James Pomerene, entrevista con Nancy Stern, 26 de septiembre de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 31.
- [\[531\]](#) John von Neumann, «Memo on Mechanical Computing Devices», nota al coronel L. E. Simón, Laboratorio de Investigación Balística, 30 de enero de 1945 [VNBC].
- [\[532\]](#) John von Neumann a Carson Mark, 13 de marzo de 1948 [VNBC].
- [\[533\]](#) Stanislaw Ulam, 1983, en Roger Eckhardt, «Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo Method», en *Stanislaw Ulam, 1909-1984 (Los Alamos Science*, n.º 15, número especial), Laboratorio Científico de Los Álamos, Los Álamos (NM), 1987, p. 125.
- [\[534\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, p. 197. Stanislaw Ulam, «Random Processes and Transformations», en *Proceedings of the International Congress of Mathematicians, Cambridge, MA, August 3-September 6, 1950*, Sociedad Matemática Estadounidense, Providence (RI), 1952, vol. 2, p. 266.
- [\[535\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, p. 197.
- [\[536\]](#) *Ibidem* .
- [\[537\]](#) < Marshall Rosenbluth, «Génesis of the Monte Carlo Algorithm for Statistical Mechanics» (charla en el Laboratorio Nacional de Los Alamos, 9 de junio de 2003).
- [\[538\]](#) Andrew W. Marshall, «An Introductory Note (on Monte Carlo Method)», en Herbert A. Meyer (ed.), *Symposium on Monte Carlo Methods, March 16 and 11, 1954, Held at the University of Florida, Sponsored by the Wright Air Development Center of the U.S. Air Force Air Research and Development Command*, Wiley, Nueva York, 1956, p. 14.
- [\[539\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, p. 199; Robert D. Richtmyer, «People Don't Do Arithmetic», inédito, 1995; Stanislaw Ulam, *Testimony, United States District Court, District of Minnesota, Fourth Division, 4-61 Civil 138: Honeytwell, Inc., Plaintiff, v. Sperry Rand Corporation and Illinois Scientific Developments, Inc., Defendants*, transcripción del proceso judicial, vol. 47, Minneapolis (MN), martes 7 de septiembre de 1971, pp. 7.427-7.428.

- [\[540\]](#) John von Neumann a Robert Richtmyer, 11 de marzo de 1947, en Stanislaw Ulam, «Statistical Methods in Neutrón Diffusion», LAMS-551, 9 de abril de 1947, p. 13. *Ibidem*, p. 6.
- [\[541\]](#) John von Neumann a Norris Bradbury, 18 de julio de 1950, Archivos LANL, expedientes B-9, carpeta 635, cajón 181, cit. en Anne Fitzpatrick, *Igniting the Light Elements: The Los Alamos Thermonuclear Weapon Project, 1942-1952*, LA-13577-T, Laboratorio Científico de Los Alamos, Los Álamos (NM), 1999, p. 148.
- [\[542\]](#) Richard F. Clippinger, «A Lógica! Coding System Applied to the ENIAC», informe BRL 673, Laboratorios de Investigación Balística, Campo de Pruebas de Aberdeen, 29 de septiembre de 1948.
- [\[543\]](#) Herman H. Goldstine al general Leslie R. Groves, Remington Rand Inc., Laboratorio de Investigación Avanzada, 14 de junio de 1949 [VNBC].
- [\[544\]](#) John y Klára von Neumann, «Actual Technique: The Use of the ENIAC», manuscrito, s.f., c. 1947 [VNBC]; Robert D. Richtmyer, «The Post-War Computer Development», *American Mathematical Monthly*, vol. 72, n.º 2, parte 2: *Computers and Computing*, febrero de 1965, p. 11.
- [\[545\]](#) J. Presper Eckert, «The ENIAC», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 529.
- [\[546\]](#) *Ibidem*, p. 529; Nicholas Metrópolis, «The MANIAC», p. 459.
- [\[547\]](#) Metrópolis, «The MANIAC», p. 459.
- [\[548\]](#) Harris Mayer, entrevista con el autor, 14 de abril de 2006 [GBD]; Harris Mayer, entrevista con el autor, 13 de mayo de 2011 [GBD].
- [\[549\]](#) Klára von Neumann a Françoise y Stan Ulam, s.f., marzo de 1948 [SUAPS]; Stanislaw Ulam a John von Neumann, 12 de mayo de 1948 [SUAPS].
- [\[550\]](#) John von Neumann a Stanislaw Ulam, 11 de mayo de 1948 [SFU].
- [\[551\]](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 7 de diciembre de 1948, KVN
- [\[552\]](#) John y Klára von Neumann, «Actual Technique: The Use of the ENIAC», manuscrito, s.f., c. 1947 [VNBC].
- [\[553\]](#) John von Neumann a Edward Teller, 1 de abril de 1950 [VNBC].
- [\[554\]](#) Robert D. Richtmyer, «People Don't Do Arithmetic», inédito, 1995.
- [\[555\]](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 14 de enero de 1948, KVN.
- [\[556\]](#) Robert D. Richtmyer, «People Don't Do Arithmetic».
- [\[557\]](#) Klára von Neumann a Harris Mayer, 8 de abril de 1949, KVN.
- [\[558\]](#) John von Neumann, «Various Techniques Used in Connection with Random Digits», en A. S. Householder (ed.), *Monte Carlo Method, Proceedings of a Symposium Held June 29, 30 and July 1, 1949 in Los Angeles, California Under the Sponsorship of the RAND Corporation, and the National Bureau of Standards, with the Cooperation of the Oak Ridge National Laboratory*, Oficina Nacional de Normalización, Serie de Matemática Aplicada n.º 12, publicado el 11 de junio de 1951, p. 36.
- [\[559\]](#) *A Million Random Digits with 100,000 Normal Demates*, Corporación RAND, Santa Momea (CA), 1955, p. XII.
- [\[560\]](#) Klára von Neumann a Stan Ulam, 15 de mayo de 1949 [SUAPS].
- [\[561\]](#) Klára von Neumann a Carson Mark, 28 de junio de 1949, KVN.
- [\[562\]](#) Herman Kahn, «Use of Different Monte Carlo Sampling Techniques», en Herbert A. Meyer (ed.), *Symposium on Monte Carlo Methods, March 16 and 11, 1954...*, p. 147.
- [\[563\]](#) Stanislaw Ulam, 14 de enero de 1974, en «Conversations with Gian-Carlo Rota», transcripciones inéditas recopiladas por Françoise Ulam, 1985 [SFU].
- [\[564\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, p. 10; Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos», inédito, julio de 1994 [SFU]; Mitchell Feigenbaum, «Reflections of the Polish Masters: Interview with Stan Ulam and Mark Kac» (fecha de la entrevista sin consignar), *Los Alamos Science*, otoño de 1982, p. 57.

- [\[565\]](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [\[566\]](#) Bruno Augenstein, entrevista, 9 de junio de 1999 [GBD]; Françoise Ulam, entrevista, 17 de septiembre de 1999 [GBD]; Claire Ulam, en *Stanislaw Ulam, 1909-1984 {Los Alamos Science, n.º 15, número especial}*, Laboratorio Científico de Los Alamos, Los Alamos (NM), 1987, p. 1.
- [\[567\]](#) Françoise Ulam, en *ibidem*, p. 6; Gian-Carlo Rota, «The Barrier of Meaning», *Letters in Mathematical Physics*, vol. 10, 1985, p. 97.
- [\[568\]](#) Stanislaw Ulam, «Conversations with Gian-Carlo Rota», transcripciones inéditas recopiladas por Françoise Ulam, 1985 [SFU]. Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, p. 114.
- [\[569\]](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [\[570\]](#) *Ibidem* .
- [\[571\]](#) *Ibidem* .
- [\[572\]](#) *Ibidem* .
- [\[573\]](#) Stanislaw Ulam a John von Neumann, s.fi, 1941 [VNBC].
- [\[574\]](#) John von Neumann a Stanislaw Ulam, 2 de abril de 1942 [VNBC]; Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, p. 141.
- [\[575\]](#) John von Neumann a Stanislaw Ulam, 9 de noviembre de 1943 [SFU]; Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, p. 144.
- [\[576\]](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [\[577\]](#) *Ibidem* .
- [\[578\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, p. 155; *Ibidem*, p. 156.
- [\[579\]](#) Harris Mayer, «People of the Hill: The Early Days», *Los Alamos Science*, n.º 28, 2003, p. 9.
- [\[580\]](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [\[581\]](#) *Ibidem* .
- [\[582\]](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, pp. 147-148.
- [\[583\]](#) Stanislaw Ulam, «Conversations with Gian-Carlo Rota».
- [\[584\]](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [\[585\]](#) Norris Bradbury, en el Consejo Coordinador de Los Alamos, 1 de octubre de 1945, en David Hawkins (ed.), *Manhattan District History: Project Y, the Los Alamos Project, Vol. 1: Inception until August 1945* , Laboratorio Científico de Los Alamos, Los Alamos (NM), 1946-1947; desclasificado como LAMS-2532, vol. 1, 1961, pp. 120-121.
- [\[586\]](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [\[587\]](#) Edward Teller, 13 de febrero de 1945, en Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [\[588\]](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos»; Stanislaw Ulam, *Testimony, United States District Court, District of Minnesota, Fourth División, 4-61 Civil 138...*, p. 7.349.
- [\[589\]](#) H. G. Wells, *The World Set Free*, Dutton, Nueva York, 1914, pp. 114-115.
- [\[590\]](#) Stanislaw Ulam, «Thermonuclear Devices», en R. E. Marshak (ed.), *Perspectives in Modern Physics: Essays in Honor of Hans Bethe*, Wiley Interscience, Nueva York, 1966, p. 593.
- [\[591\]](#) Edward Teller, «The Work of Many People», *Science*, vol. 121, 25 de febrero de 1955, p. 269.
- [\[592\]](#) Memorando al secretario de Guerra de Vannevar Bush y James B. Conant, «Supplementary memorándum giving further details concerning military potentials of atomic bombs and the need for international exchange of information», 30 de septiembre de 1944, en JCAE, expedientes desclasificados de tema general, caja 60, NARA. Reprod. en Anne Fitzpatrick, *Igniting the Light Elements...*, p. 103.
- [\[593\]](#) Edward Teller, «The Work of Many People», p. 268.
- [\[594\]](#) *Ibidem* , p. 269.

- [15951](#) Edward Teller, *Testimony, United States District Court, District of Minnesota, Fourth División, 4-61 Civil 138...*, lunes 30 de agosto de 1971, p. 6.702.
- [15961](#) Hans A. Bethe, «Comments on the History of the H-Bomb», escrito en 1954, desclasificado en 1980, con una nueva introducción de Hans Bethe, en *Los Alamos Science*, otoño de 1982, p. 47.
- [15971](#) Edward Teller, *Testimony, United States District Court...*, p. 6.771.
- [15981](#) E. Bretscher, S. P. Frankel, D. K. Froman, N. Metrópolis, P. Morrison, L. W. Nordheim, E. Teller, A. Turkevich y J. von Neumann, «Report on the Conference on the Super», LA-575, 16 de febrero de 1950.
- [15991](#) John von Neumann y Klaus Fuchs, «Improvements in method and means for utilizing nuclear energy», Oficina de Investigación y Desarrollo Científico de Estados Unidos, Oficina de Gestión de Emergencias, «Revelación de Invento», 28 de mayo de 1946; Robert Richtmyer, 4 de marzo de 1997, en Anne Fitzpatrick, *Igniting the Light Elements...*, p. 134.
- [16001](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [16011](#) J. Robert Oppenheimer, del Comité Asesor General de la AEC, a David Lilienthal, presidente de la AEC, 30 de octubre de 1949, con un anexo con las opiniones mayoritaria y minoritaria del Comité Asesor General sobre la construcción de la bomba H, reprod. en Herbert F. York, *The Advisors: Oppenheimer, Tellers and the Superbombs*, pp. 150-159.
- [16021](#) James B. Conant, Hartley Rowe, Cyril Stanley Smith, L. A. Du-Bridge, Oliver E. Buckley, J. R. Oppenheimer, I. I. Rabi, del Comité Asesor General, a la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos, informe del 30 de octubre de 1949, reprod. en Herbert F. York, *The Advisors: Oppenheimer, Teller, and the Superbomb*, W. H. Freeman, San Francisco, 1976, p. 157; John von Neumann a Joe Mayor, 3 de febrero de 1950 [VNBC].
- [16031](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [16041](#) Stanislaw Ulam, *Testimony, United States District Court...*, martes 7 de septiembre de 1971, p. 7.401.
- [16051](#) John von Neumann, testimonio ante la Junta de Seguridad del Personal de la AEC, 27 de abril de 1954, en *In the Matter of]. Robert Oppenheimer*, Government Printing Office, Washington, 1954, p. 655.
- [16061](#) Ralph Slutz, entrevista con Christopher Evans, junio de 1976, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 086.
- [16071](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos»; Stan Ulam, *Adventures of a Mathematician*, pp. 216-217; Stan Ulam a John von Neumann, 27 de enero de 1950 [VNBC].
- [16081](#) Stanislaw Ulam, «Thermonuclear Devices», en R. E. Marshak (ed.), *Perspectives in Modern Physics: Essays in Honor of Hans Bethe*, Wiley Interscience, Nueva York, 1966, p. 597.
- [16091](#) John von Neumann a Stan Ulam, 7 de febrero de 1950 [SUAPS].
- [16101](#) Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- [16111](#) Edward Teller, entrevista, 22 de abril de 1999 [GBD].
- [16121](#) Hans A. Bethe, «Comments on the History of the H-Bomb», escrito en 1954, desclasificado en 1980, con una nueva introducción de Hans Bethe, en *Los Alamos Science*, otoño de 1982, pp. 44 y 49.
- [16131](#) Stan Ulam a Hans Bethe, 29 de octubre de 1954, Universidad Cornell/PM.
- [16141](#) Edward Teller y Stanislaw Ulam, «On Heterocatalytic Detonations I, Hydrodynamic Lenses and Radiation Mirrors», LAMS-1225, 9 de marzo de 1951.
- [16151](#) Harris Mayer, «People of the Hill: The Early Days», en *Los Alamos Science*, n.º 28, 2003, p. 25; Harris Mayer, entrevista, 25 de mayo de 2011 [GBD].
- [16161](#) Theodore Taylor, entrevista con Kenneth W. Ford, 13 de febrero de 1995. Nils Bohr Library, Instituto Americano de Física, Washington D. C.
- [16171](#) Gordon Dean, testimonio ante la junta de Seguridad del Personal de la AEC, 19 de abril de 1954, en *In the Matter of]. Robert Oppenheimer*, Government Printing Office, Washington, 1954, p. 305.

- ^[6181] J. Robert Oppenheimer, testimonio ante la Junta de Seguridad del Personal de la AEC, 16 de abril de 1954, en *In the Matter of J. Robert Oppenheimer*, p. 251.
- ^[6191] Marshall Rosenbluth, «Génesis of the Monte Carlo Algorithm for Statistical Mechanics» (charla en el Laboratorio Nacional de Los Alamos, 9 de junio de 2003), cortesía de Marshall Rosenbluth.
- ^[6201] Bill Borden, memorando anexo a expediente relativo a una conversación con el almirante Strauss, 13 de agosto de 1951, p. 1 [NARA-JCAE/PM].
- ^[6211] Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- ^[6221] Theodore Taylor, entrevista con Kenneth W. Ford, 13 de febrero de 1995.
- ^[6231] John S. Walker, memorando anexo a expedientes sobre las cuestiones termonucleares y el Departamento de Defensa, 3 de octubre de 1952 [NARA/PM]; Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- ^[6241] J. Robert Oppenheimer, cartas sobre contratos, 14 y 17 de marzo de 1950 [IAS-BS].
- ^[6251] Julian Bigelow, «Computer Development at the Institute for Advanced Study», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 308.
- ^[6261] Françoise Ulam, «From Paris to Los Alamos».
- ^[6271] O J. Everett y S. M. Ulam, «On a Method of Propulsión of Projectiles by Means of Externa! Nuclear Explosions», informe del Laboratorio Científico de Los Alamos, LAMS-1955, agosto de 1955, pp. 3-5.
- ^[6281] Stanislaw Ulam, testimonio del 22 de enero de 1958 ante el senador Albert Gore y el congresista James T. Patterson, en «Outer Space Propulsión by Nuclear Energy, Hearings held jan. 22, 23 & Feb. 6, 1958 before the Subcommittee on Outer Space Propulsión of the Joint Committee on Atomic Energy, Eightyfifth Congress, second session», p. 48.
- ^[6291] James Clerk Maxwell, *Theory of Heat*, Longman's, Londres, 1871, p. 308.
- ^[6301] Stanislaw M. Ulam, «On the Possibility of Extracting Energy from Gravitational Systems by Navigating Space Vehicles», LAMS-2219, escrito el 1 de abril de 1958, distribuido el 19 de junio de 1958, pp. 3-7.
- ^[6311] *Ibidem*, p. 7.
- ^[6321] Stan Ulam a John von Neumann, 29 de febrero de 1952 [VNBC].
- ^[6331] James Clerk Maxwell, *Theory of Heat*, pp. 288-289.
- ^[6341] Stan Ulam a John von Neumann, 7 de febrero de 1949, VNBC.
- ^[6351] Stan Ulam a Arthur W. Burks, 27 de enero de 1961, SUAPS. Nicholas Metrópolis a Stan Ulam, 7 de junio de 1948 [SUAPS].
- ^[6361] «Notes on Meeting of 25 August 1951 on a Site for a Super Test», ed. de William Ogle, Laboratorio Científico de Los Alamos, División J, Planificación de Experimentos, 8 de septiembre de 1951, p. 20.
- ^[6371] Franke E. Moore, Jr. y H. Gordon Bechanan, «History of Operation Ivy, 1951-1952», s.f, p. 274, disponible en www.hss.doe.gov/HealthSafety/IHS/marshaU/collection/data/ihipid/59438e.pdf.
- ^[6381] Lauren R. Donaldson, «Diary of Operation Ivy, First "H" test», 15 de octubre a 13 de noviembre de 1952, disponible en <http://www.osti.gov/opennet/servlets/purl/16205388-DiXyLw/16205388.pdf>
- ^[6391] Walter Munk y Deborah Day, «Ivy-Mike», *Oceanography*, vol. 17, n.º 2, junio de 2004, p. 102.
- ^[6401] Franke E. Moore, Jr. y H. Gordon Bechanan, «History of Operation Ivy, 1951-1952», p. 277.
- ^[6411] Stan Ulam a John von Neumann, 9 de noviembre de 1952, VNBC.
- ^[6421] George Gamow a Stan Ulam, 20 de julio de 1953, SUAPS.
- ^[6431] Stan Ulam a George Gamow, 20 de julio de 1953, SUAPS.
- ^[6441] Nils Aall Barricelli, «Experiments in Bionumeric Evolution Executed by the Electronic Computer at Princeton, N. J.», inédito, agosto de 1953, pp. 2-3, IAS.

- [\[645\]](#) Gerald Estrin, entrevista, 14 de abril de 2005 [GBD]; Nils Aall Barricelli, «Sur le fondement theoretique pour l'analyse des courbes climatiques», tesis doctoral, Universidad de Oslo, 1947; Tor Gulliksen, comunicación personal, 22 de noviembre de 1995, GBD.
- [\[646\]](#) Simen Gaure, comunicación personal, 23 de noviembre de 1995, GBD.
- [\[647\]](#) Kirke Wolfe, entrevista, 29 de abril de 2010, GBD; Nils Aall Barricelli, «Prospects and Physical Conditions for Life on Venus and Mars», *Scientia*, vol. 11, 1961, p. 1.
- [\[648\]](#) Simen Gaure, comunicación personal, 23 de noviembre de 1995; Kirke Wolfe, entrevista, 29 de abril de 2010 [GBD]. Nils Aall Barncelli, «Symbiogenetic Evolution Processes Realized by Artificial Methods», *Methodos*, vol. 8, n.º 32, 1956, p. 307.
- [\[649\]](#) Frank Stahl, entrevista, 25 de febrero de 2007 [GBD].
- [\[650\]](#) Simen Gaure, comunicación personal, 23 de noviembre de 1995.
- [\[651\]](#) Atle Selberg, entrevista, 11 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[652\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Monthly Progress Report, March 1953», p. 3, IAS.
- [\[653\]](#) Nils Aall Barricelli, «Application for United States Government Travel Grant for Citizens of Norway, Fulbright Act, to be submitted to United States Educational Foundation in Norway», 8 de diciembre de 1951, IAS.
- [\[654\]](#) John von Neumann a la oficina Fulbright, Fundación Docente de Estados Unidos en Noruega, 5 de febrero de 1952, IAS.
- [\[655\]](#) Nils Aall Barricelli, «Experiments in Bionumeric Evolution...», p. 1, IAS; Julian Bigelow, entrevista, noviembre de 1997 [GBD].
- [\[656\]](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part II», *Acta Biotheoretica*, vol. 16, 1962, p. 122; Claude E. Shannon, «An Algebra for Theoretical Genetics», tesis doctoral, Departamento de Matemáticas, Instituto de Tecnología de Massachusetts, 15 de abril de 1940.
- [\[657\]](#) John von Neumann a Norbert Wiener, 29 de noviembre de 1946 [VNBC]; John von Neumann a Mina Rees, Oficina de Investigación Naval, 20 de enero de 1947 [VNBC].
- [\[658\]](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part I», *Acta Biotheoretica*, vol. 16, 1962, p. 70.
- [\[659\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Operating Log», 22 de junio de 1956, IAS.
- [\[660\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Final Report on Contract No. DA-36-034-ORD-1023», 1 de abril de 1954, p. 11-83-85, IAS.
- [\[661\]](#) Nils A. Barricelli, «Symbiogenetic Evolution Processes...», p. 152.
- [\[662\]](#) Nils Aall Barricelli, «Experiments in Bionumeric Evolution...», p. 2, IAS; Nils A. Barricelli, «Symbiogenetic Evolution Processes...», p. 175.
- [\[663\]](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part I», p. 72.
- [\[664\]](#) *Ibidem*, p. 94.
- [\[665\]](#) Nils A. Barricelli, «Symbiogenetic Evolution Processes...», p. 159.
- [\[666\]](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part I», p. 88.
- [\[667\]](#) Nils Aall Barricelli, «Evolution Processes Realized by Numerical Elements», «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report», julio de 1956, pp. 10-11, IAS.
- [\[668\]](#) Nils A. Barricelli, «Symbiogenetic Evolution Processes...», p. 169.
- [\[669\]](#) Gerald Estrin, entrevista, 14 de abril de 2005 [GBD]; Nils A. Barricelli, «Symbiogenetic Evolution Processes...», p. 164.
- [\[670\]](#) Nils Aall Barricelli, «Experiments in Bionumeric Evolution...», p. 12, IAS.
- [\[671\]](#) «Esempi numerici di processi di evoluzione», *Methodos*, vol. 6, n.º 21-22, 1954, p. 48.
- [\[672\]](#) Nils Aall Barricelli, «Symbiogenetic Evolution Processes...», p. 180; Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part II», p. 117.

- [16731](#) John von Neumann, «Statistical Theories of Information», conferencia pronunciada en la Universidad de Illinois, diciembre de 1949, en Arthur W. Burks (ed.), *Theory of Self-reproducing Automata*, University of Illinois Press, Urbana (IL), 1966, p. 60.
- [16741](#) John von Neumann, «Reliable Organizations of Unreliable Elements», s.f, finales de 1951, p. 44 [VNBC].
- [16751](#) John von Neumann, «The Role of High and Extremely High Complication», conferencia pronunciada en la Universidad de Illinois, diciembre de 1949, en Arthur W. Burks (ed.), *Theory of Self-reproducing Automata*, p. 71.
- [16761](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part II», p. 116; Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories», *Journal of Statistical Computation and Simulation*, vol. 1, 1972, p. 122.
- [16771](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part II», p. 100; Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories», p. 126.
- [16781](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part II», p. 101.
- [16791](#) Nils Aall Barricelli, Robert Toombs y Louis Nelson, «Virus-genetic Theory Testing by Data Processing Machines. Parts 1-3», *Journal of Theoretical Biology*, vol. 32, n.º 3, 1971, p. 621.
- [16801](#) Kirke Wolfe, entrevista, 29 abril de 2010 [GBD].
- [16811](#) John von Neumann a Hans A. Bethe, 13 de noviembre de 1953 [VNBC].
- [16821](#) Frank Stahl, entrevista, 25 de febrero de 2007 [GBD].
- [16831](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories: Part I», pp. 69 y 99; *ibidem*, p. 94.
- [16841](#) Nils Barricelli, «Genetic Language, its Origins and Evolution», *Theoretic Papers*, vol. 4, n.º 6, Oslo, Equipo de Investigación Teórica de Blindern, Universidad de Oslo, 1986, pp. 106-107.
- [16851](#) *Ibidem*, p. 107.
- [16861](#) Nils A. Barricelli, «On the Origin and Evolution of the Genetic Code, II: Origin of the Genetic Code as a Primordial Collector Language; The Pairing-Release Hypothesis», *BioSystems*, vol. 11, 1979, pp. 19 y 21.
- [16871](#) Nils A. Barricelli, «Suggestions for the Starting of Numeric Evolution Processes Intended to Envolv Symbioorganisms Capable of Developing a Language and Technology of Their Own», *Theoretic Papers*, Oslo, Equipo de Investigación Teórica de Blindern, Universidad de Oslo, 1987, vol. 6, p. 121.
- [16881](#) Nils A. Barricelli, «The Functioning of Intelligence Mechanisms Directing Biologic Evolution», *Theoretic Papers*, Oslo, Equipo de Investigación Teórica de Blindern, Universidad de Oslo, 1985, vol. 3, n.º 7, p. 126.
- [16891](#) Nils A. Barricelli, «Numerical Testing of Evolution Theories», pp. 123-124.
- [16901](#) Nils Barricelli, «The Intelligence Mechanisms Behind Biológica! Evolution», *Scientia*, septiembre de 1963, pp. 178-179.
- [16911](#) Nils Barricelli, «Suggestions for the Starting of Numeric Evolution Processes...», p. 144.
- [16921](#) Cari Woese y Nigel Goldenfeld, «How the Microbial World Saved Evolution from the Scylla of Molecular Biology and the Charybdis of the Modern Synthesis», *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, vol. 73, n.º 1, marzo de 2009, p. 20.
- [16931](#) Nigel Goldenfeld y Cari Woese, «Biology's Next Revolution», *Nature*, 25 de enero de 2007, p. 369.
- [16941](#) Nils Barricelli, en Paul S. Moorhead y Martin M. Kaplan (eds.), *Mathematical Challenges to the Neo-Darwinian Interpretation of Evolution: A Symposium Held at the Wistar Institute, April 25-26, 1966*, Wistar Institute, Filadelfia, 1966, p. 67; Alan Turing, «Computing Machinery and Intelligence», *Mind*, vol. 59, n.º 236, octubre de 1950, p. 456.
- [16951](#) George Church, West Hollywood, California, 26 de julio de 2009, EDGE Foundation, «A short course on Synthetic Genomics» (edge.org).
- [16961](#) Sara Turing, *Alan M. Turing*, W. Heffer & Sons, Cambridge, 1959, p. 11.
- [16971](#) Alan Turing a Sara Turing, a bordo del *Berengaria*, de la línea Cunard White Star, 28 de septiembre de 1936 [AMT].

- [\[698\]](#) Sara Turing, *Alan M. Turing*, p. 11.
- [\[699\]](#) *Ibidem*, pp. 11, 27 y 29.
- [\[700\]](#) Alan Turing a Sara Turing, 28 de septiembre de 1936 [AMT].
- [\[701\]](#) Alan Turing a Philip Hall, 22 de noviembre de 1936 [AMT].
- [\[702\]](#) John von Neumann a Oswald Veblen, 6 de julio de 1935 [OVBC].
- [\[703\]](#) *Ibidem*.
- [\[704\]](#) Lynn Newman a sus padres, finales de 1937, en William Newman, «Max Newman: Mathematician, Codebreaker, and Computer Pioneer», en Jack Copeland (ed.), *Colossus: The Secrets of Bletchley Park's Codebreaking Computers*, Oxford University Press, Oxford, 2006, p. 179.
- [\[705\]](#) I. J. Good a Sara Turing, 9 de diciembre de 1956 [AMT]; Robin Gandy, «The Confluence of Ideas in 1936», en Rolf Herken (ed.), *The Universal Turing Machine: A Half-century Survey*, Oxford University Press, Oxford, 1988, p. 85.
- [\[706\]](#) Alan Turing, «On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem», *Proceedings of the London Mathematical Society*, serie 2, vol. 42, 1936-1937, p. 230.
- [\[707\]](#) *Ibidem*, p. 231.
- [\[708\]](#) *Ibidem*, p. 250.
- [\[709\]](#) *Ibidem*, p. 241.
- [\[710\]](#) William Newman, «Max Newman: Mathematician, Codebreaker, and Computer Pioneer», p. 178; Max Newman a Alonzo Church, 31 de mayo de 1936, en Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma*, Simón & Schuster, Nueva York, 1983, pp. 111-112.
- [\[711\]](#) Alan Turing a Sara Turing, 6 de octubre de 1936 [AMT]; Alan Turing a Sara Turing, 22 de febrero de 1937 [AMT].
- [\[712\]](#) Freeman Dyson, entrevista, 11 de marzo de 2005 [GBD]; Martin Davis, «Influences of Mathematical Logic on Computer Science», en Rolf Herken (ed.), *The Universal Turing Machine: A Half-century Survey*, Oxford University Press, Oxford, 1987, p. 315.
- [\[713\]](#) Alonzo Church, «Review of A. M. Turing, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem"», *Journal of Symbolic Logic*, vol. 2, n.º 1, marzo de 1937, p. 43.
- [\[714\]](#) Kurt Gödel, «Remarks Before the Princeton Bicentennial Conference on Problems in Mathematics», 17-19 de diciembre de 1946, en Solomon Feferman (ed.), *Collected Works*, Oxford University Press, Oxford, 1986, vol. 2, p. 150.
- [\[715\]](#) M. H. A. Newman, «Alan Mathison Turing, 1912-1954», *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 1, 1955, p. 256; M. H. A. Newman, «Dr. A. M. Turing», *London Times*, 16 de junio de 1954, p. 10.
- [\[716\]](#) Herman Goldstine, entrevista con Nancy Stern, 11 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 18.
- [\[717\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 3.
- [\[718\]](#) Malcolm MacPhail a Andrew Hodges, 17 de diciembre de 1977, en Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma*, p. 138.
- [\[719\]](#) Alan Turing, «Systems of Logic Based on Ordinals», *Proceedings of the London Mathematical Society*, serie 2, vol. 45, 1939, p. 161.
- [\[720\]](#) *Ibidem*, pp. 172-173.
- [\[721\]](#) *Ibidem*, pp. 214-215.
- [\[722\]](#) *Ibidem*, p. 215.
- [\[723\]](#) Alan Turing a Sara Turing, 14 de octubre de 1936 [AMT].

- [17241](#) Alan Turing a Philip Hall, s.f, 1938 [AMT].
- [17251](#) I. J. Good, «Pioneering Work on Computés at Bletchley», en Ni cholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 35.
- [17261](#) C. Hugh Alexander, «Cryptographic History of Work on the Germán Naval Enigma», inédito, 1945, pp. 19-20 [AMT].
- [17271](#) Irving J. Good, «A Report on a Lecture by Tom Flowers on the Design of the Colossus», *Annals of the History of Computing*, vol. 4, n.º 1, 1982, pp. 57-58.
- [17281](#) Irving J. Good, «Enigma and Fish», revisado y corregido, en F. H. Hinsley y Alan Stripp (eds.), *Codebreakers: The Inside Story of Bletchley Park*, Clarendon Press, Oxford, 2.ª ed., 1994, p. 164.
- [17291](#) Sara Turing, *Alan M. Turing*, pp. 72-73; Irving J. Good a Lee A. Gladwin, 18 de junio de 2002, en «Cryptanalytic Co-operation Between the UK and the USA», en Christof Teuscher (ed.), *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker*, Springer-Verlag, Nueva York, 2002, p. 472.
- [17301](#) John R. Womersley (División de Matemáticas, Laboratorio Nacional de Física), *A.CE. Project: Origin and Early History*, 26 de noviembre de 1946 [AMT].
- [17311](#) *Ibidem* .
- [17321](#) Max Newman a John von Neumann, 8 de febrero de 1946 [VNBC].
- [17331](#) Alan Turing, «Report on visit to U.S.A., January 1st-20th, 1947» [AMT].
- [17341](#) Sara Turing, *Alan M. Turing*, p. 56.
- [17351](#) Alan Turing, «Proposed Electronic Calculator», s.f, c. 1946, p. 19 [AMT].
- [17361](#) Sara Turing, *Alan M. Turing*, p. 78.
- [17371](#) Alan Turing, «Proposed Electronic Calculator», p. 47 [AMT]; Alan Turing, «Lecture to the London Mathematical Society on 20 February 1947», p. 9 [AMT].
- [17381](#) J. H. Wilkinson, «Turing's Work at the National Physical Laboratory», en N. Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, p. 111.
- [17391](#) Charles G. Darwin [Laboratorio Nacional de Física] a sir Edward V. Appleton, 23 de julio de 1947 [AMT].
- [17401](#) Alan Turing, «Intelligent Machinery», informe enviado al Laboratorio Nacional de Física, 1948, p. 1 [AMT].
- [17411](#) Alan Turing, «Lecture to the London Mathematical Society...», pp. 23-24 [AMT].
- [17421](#) Alan Turing, «Intelligent Machinery», p. 2 [AMT].
- [17431](#) Alan Turing, «Lecture to the London Mathematical Society...», p. 23 [AMT].
- [17441](#) Alan Turing, «Intelligent Machinery», p. 6 [AMT].
- [17451](#) *Ibidem* .
- [17461](#) *Ibidem* , p. 18.
- [17471](#) Alan Turing, «Computing Machinery and Intelligence», *Mind*, vol. 59, octubre de 1950, p. 456; Alan Turing, «Intelligent Machinery», p. 17 [AMT].
- [17481](#) I. J. Good a Sara Turing, 9 de diciembre de 1956 [AMT]; Lyn Newman a Antoinette Esher, 24 de junio de 1949 [AMT]; Irving J. Good, «Ethical Machines» (trabajo preparado para el X Taller de Inteligencia Mecánica, Universidad Case Western Reserve, 20-25 de abril de 1981), borrador inédito, 7 de octubre de 1980, p. IX.
- [17491](#) Alan Turing a I. J. Good, 18 de septiembre de 1948 [AMT].
- [17501](#) Irving J. Good, «Speculations on Perceptions and Other Autómata, IBM Research Lecture RC-115», 2 de junio de 1959, basado en una conferencia patrocinada por el Departamento de Organización Mecánica de IBM, 17 de diciembre de 1958, p. 6.
- [17511](#) Alan Turing, «Intelligent Machinery», p. 17 [AMT].
- [17521](#) Willis Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 37.
- [17531](#) Perfil biográfico de J. H. Bigelow, 14 de noviembre de 1950, IAS.

[17541](#) *Ibidem* .

[17551](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.

[17561](#) Julian Bigelow, «Computer Development at the Institute for Advanced Study», en Nicholas Metrópolis, J. Howlett y Gian-Carlo Rota (eds.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Academic Press, Nueva York, 1980, p. 291.

[17571](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.

[17581](#) Herman Goldstine, entrevista con Nancy Stern, 11 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 18.

[17591](#) Thelma Estrin, entrevista con Frederik Nebeker, 24-25 de agosto de 1992, Centro de Historia del IEEE, Universidad Rutgers; Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 3; Actas de la reunión extraordinaria de los miembros de la corporación, 25 de octubre de 1951, IAS.

[17601](#) Actas de la reunión ordinaria de la Junta Directiva, 27 de octubre de 1955, IAS; Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.

[17611](#) Freeman J. Dyson a S. Chandrasekhar, M. J. Lighthill F. R. S., *sir* Geoffrey Taylor, Sydney Goldstein y *sir* Edward Bullard, 20 de octubre de 1954, IAS.

[17621](#) James Lighthill a Freeman Dyson, 18 de noviembre de 1954, IAS.

[17631](#) David J. Wheeler, entrevista con William Aspray, 14 de mayo de 1987, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 132.

[17641](#) Freeman J. Dyson, «The Future of Physics», conferencia pronunciada en la inauguración de Jadwin Hall y Fine Hall, Universidad de Princeton, 17 de marzo de 1970 [FJD]; John Bahcall, memorando a todos los miembros del Instituto, septiembre de 1976, IAS.

[17651](#) Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.

[17661](#) *Ibidem* .

[17671](#) *Ibidem* .

[17681](#) John von Neumann, testimonio ante la Junta de Seguridad del Personal de la AEC, 27 de abril de 1954, en *In the Matter of J. Robert Oppenheimer*, Government Printing Office, Washington, 1954, p. 649.

[17691](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 16 de mayo de 1954, KVN.

[17701](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 17 de mayo de 1954, KVN.

[17711](#) Harris Mayer, entrevista, 14 de abril de 2006 [GBD].

[17721](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 9 de diciembre de 1943, KVN; Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.

[17731](#) John von Neumann, «The Impact of Recent Developments in Science on the Economy and on Economics», discurso pronunciado en la Asociación Nacional de Planificación, Washington, 12 de diciembre de 1955, reprod. en *Collected Works*, Pergamon Press, Oxford, 1963, vol. 6, p. 100.

[17741](#) Jule Charney a Stanislaw Ulam, 6 de diciembre de 1957 [SUAPS].

[17751](#) Lewis L. Strauss, en *John von Neumann*, documental producido por la Asociación Matemática de Estados Unidos, 1966.

[17761](#) Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 3.

[17771](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, Scribner's, Nueva York, 1976, p. 244.

- [17781](#) Marina von Neumann Whitman, entrevista, 7 de mayo de 2004 [GBD].
- [17791](#) Marina von Neumann Whitman, entrevista, 3 de mayo de 2010 [GBD]; Nicholas von Neumann, *John von Neumann as Seen by His Brother*, Nicholas Vonneumann, Meadowbrook (PA), 1987, p. 17.
- [17801](#) Marina von Neumann Whitman, entrevista, 3 de mayo de 2010 [GBD]; Stanislaw Ulam a Lewis L. Strauss, 21 de diciembre de 1956 [SUAPS].
- [17811](#) Julian Bigelow a Jule Charney, 18 de enero de 1957 QHB]; Klára von Neumann, *Johnny*, c. 1963, KVN.
- [17821](#) Memorando sobre las honras fúnebres de John von Neumann, 11 de febrero de 1957, [LAS]; Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, p. 242.
- [17831](#) Marston Morse a John von Neumann, s.f, citado en Norman MacRae, *John von Neumann: The Scientific Genius Who Pioneered the Modern Computer, Gante Theory, Nuclear Deterrence and Much More*, Pantheon, Nueva York, 1992, p. 379; Morris Rubinoff, entrevista con Richard Mertz, 17 de mayo de 1971, Colección de Historia Oral sobre el Ordenador, Centro de Documentación, Museo Nacional de Historia Estadounidense.
- [17841](#) Martin Davis, entrevista, 4 de octubre de 2005 [GBD].
- [17851](#) Julian Bigelow, entrevista con Fio Conway y Jim Siegelman, 30 de octubre de 1999.
- [17861](#) Julian H. Bigelow, «Theories of Memory», en David L. Arm (ed.), *Science in the Sixties: The Tenth Anniversary AFOSR Scientific Seminar, Cloudcroft, New México, June 1965*, University of New México Press, Albuquerque (NM), p. 85.
- [17871](#) Julian Bigelow, «Physical and Physiological Information Processes and Systems», manuscrito s.f. QHB].
- [17881](#) Julian H. Bigelow, «Theories of Memory», p. 86.
- [17891](#) *Ibidem*, p. 87.
- [17901](#) *Ibidem*, p. 86.
- [17911](#) *Ibidem*, pp. 85-86.
- [17921](#) *Ibidem*, p. 85.
- [17931](#) Julian Bigelow, Arturo Rosenblueth y Norbert Wiener, «Behavior, Purpose and Teleology», *Philosophy of Science*, vol. 10, n.º 1, 1943, p. 22.
- [17941](#) Stanislaw Ulam, *Adventures of a Mathematician*, p. 242.
- [17951](#) John von Neumann, *The Computer and the Brain*, Yale University Press, New Haven, 1958, pp. 79-82.
- [17961](#) Stan Ulam, citado por Gian-Carlo Rota, «The Barrier of Meaning», *Letters in Mathematical Physics*, vol. 10, 1985, p. 99.
- [17971](#) John von Neumann, «Problems of Hierarchy and Evolution», conferencia pronunciada en la Universidad de Illinois, diciembre de 1949, en Arthur W. Burks (ed.), *Theory of Self-reproducing Automata*, University of Illinois Press, Urbana (IL), 1966, p. 84.
- [17981](#) John von Neumann, «The General and Logical Theory of Automata», 20 de septiembre de 1948, en Lloyd A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, Hafner, Nueva York, 1951, p. 31.
- [17991](#) I. J. Good, *The Scientist Speculates*, Basic Books, Nueva York, 1962, p. 197; John von Neumann, «The General and Logical Theory of Automata», p. 21.
- [18001](#) John von Neumann, «Reliable Organizations of Unreliable Elements», mecanografiado inédito y s.f.i, finales de 1951, p. 44 [VNBC].
- [18011](#) Aldous Huxley, *Ape and Essence*, Harper & Brothers, Nueva York, 1948, pp. 38-39.
- [18021](#) *Ibidem*.
- [18031](#) Nils A. Barricelli, «On the Origin and Evolution of the Genetic Code, II: Origin of the Genetic Code as a Primordial Collector Language: The Pairing-Release Hypothesis», *BioSystems*, vol. 11, 1979, pp. 21-22.
- [18041](#) John von Neumann a Norbert Wiener, 29 de noviembre de 1946 [VNBC].
- [18051](#) *Ibidem*.

- [\[806\]](#) John von Neumann a Irving Langmuir, 12 de noviembre de 1946 [VNBC].
- [\[807\]](#) John von Neumann, «Problems of Hierarchy and Evolution», conferencia pronunciada en la Universidad de Illinois, diciembre de 1949, en Arthur W. Burks (ed.), *Theory of Self-reproducing Automata*, University of Illinois Press, Urbana (IL), 1966, p. 84; John von Neumann, «The General and Logical Theory of Automata», 20 de septiembre de 1948, en Lloyd A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, Hafner, Nueva York, 1951, p. 28.
- [\[808\]](#) John von Neumann, «The General and Logical Theory», p. 31.
- [\[809\]](#) John von Neumann, «Rigorous Theories of Control and Information», conferencia pronunciada en la Universidad de Illinois, diciembre de 1949, en Arthur W. Burks (ed.), *Theory of Self-Reproducing Automata*, University of Illinois Press, Urbana (IL), 1966, p. 51.
- [\[810\]](#) *Ibidem*.
- [\[811\]](#) John von Neumann, «The General and Lógica! Theory of Automata», 20 de septiembre de 1948, en Lloyd A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior...*, p. 31; John von Neumann, «Problems of Hierarchy and Evolution», conferencia pronunciada en la Universidad de Illinois, diciembre de 1949, en Arthur W. Burks (ed.), *Theory of Selfreproducing Automata*, University of Illinois Press, Urbana (IL), 1966, p. 80.
- [\[812\]](#) *Ibidem*, p. 78.
- [\[813\]](#) Stanislaw Ulam, «John von Neumann: 1903-1957», *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 64, n.º 3, parte 2, mayo de 1958, p. 8; John von Neumann, citado en Claude Shannon, «von Neumann's Contributions to Automata Theory», en *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 64, n.º 3, parte 2, mayo de 1958, p. 126.
- [\[814\]](#) John von Neumann, esbozo de libro (que al parecer iba a escribir en colaboración con Stan Ulam) sobre la teoría de los autómatas autorreproductores, s.f. c. 1952, VNBC (aquí se da únicamente una lista parcial de los temas).
- [\[815\]](#) Willis H. Ware, «The History and Development of the Electronic Computer Project at the Institute for Advanced Study», Corporación RAND, memorando P-377, 10 de marzo de 1953, p. 16.
- [\[816\]](#) David J. Wheeler, entrevista con William Aspray, 14 de mayo de 1987, Instituto Charles Babbage, Historia Oral, n.º 132; Murray Gell-Mann, entrevista, 10 de agosto de 2004 [GBD].
- [\[817\]](#) John von Neumann, «Lectores on Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms From Unreliable Components», a partir de las notas de R. S. Pierce de sus conferencias en el MIT, 4-15 de enero de 1952, p. 1 (publicado posteriormente en *Automata Studies*, Princeton University Press, Princeton, 1956, pp. 43-99); Murray Gell-Mann, entrevista con el autor, 10 de agosto de 2004 [GBD].
- [\[818\]](#) John von Neumann, «A Model of General Economic Equilibrium», *Review of Economic Studies*, vol. 13, 1945, p. 1.
- [\[819\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Monthly Progress Report: June, 1956», pp. 1-2, IAS.
- [\[820\]](#) Nils Aall Barricelli, «Prospects and Physical Conditions for Life on Venus and Mars», *Scientia*, vol. 11, 1961, pp. 1 y 5.
- [\[821\]](#) Marvin Minsky, en Cari Sagan (ed.), *Communication with Extraterrestrial Intelligence: Proceedings of the Conference Held at the Byurakan Astrophysical Observatory, Yerevan, USSR, 5-11 September 1911*, MIT Press, Cambridge (MA), 1973, p. 328.
- [\[822\]](#) Edward Teller, *Memoirs*, Perseus Books, Cambridge (MA), 2001, p. 3.
- [\[823\]](#) Edward Teller, entrevista con el autor, 22 de abril de 1999 [GBD].
- [\[824\]](#) Martin Schwarzschild, entrevista con William Aspray, 18 de noviembre de 1986, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 124.

- [825] *Ibidem* .
- [826] John von Neumann a Klára von Neumann, 25 de enero de 1952, KVN.
- [827] *Ibidem* .
- [828] Martin Schwarzschild, entrevista con William Aspray, 18 de noviembre de 1986, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 124; Martin Schwarzschild a Subrahmanyam Chandrasekhar, 3 de diciembre de 1946, Papeles de Schwarzschild, Bibliotecas de la Universidad de Princeton.
- [829] Ingrid Selberg, comunicación personal, 9 de septiembre de 2010.
- [830] «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Final Report...», p. 21.11, IAS.
- [831] *Ibidem* , p. 21.14.0, IAS.
- [832] John Bahcall, entrevista, 10 de mayo de 2004 [GBD].
- [833] Martin Schwarzschild, *Structure and Evolution of the Stars*, Dover, Nueva York, 1957, p. 284.
- [834] John von Neumann, «Discussion on the Existence and Uniqueness or Multiplicity of Solutions of the Aerodynamical Equations», 17 de agosto de 1949, en *Problems of Cosmical Aerodynamics. Proceedings of the Symposium on the Motion of Gaseous Masses of Cosmical Dimensions* , París, 16-19 de agosto de 1949, p. 75.
- [835] Stanislaw Ulam, «John von Neumann: 1903-1957», *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 64, n.º 3, parte 2, mayo de 1958, p. 5.
- [836] Julian Bigelow a Maurice Wilkes, 11 de febrero de 1949 QHB].
- [837] Julian Bigelow, entrevista con Fio Conway y Jim Siegelman, 30 de octubre de 1999.
- [838] Julian Bigelow a Warren Weaver, 2 de diciembre de 1941 [THB].
- [839] Stan Ulam a John von Neumann, s.f., c. 1951 [VNBC].
- [840] Stanislaw Ulam, en Paul S. Moorhead y Martin M. Kaplan (eds.), *Mathematical Challenges to the Neo-Darwinian Interpretation of Evolution: A Symposium Held at the Wistar Institute, April 25-26, 1966* , Wistar Institute, Filadelfia, 1966, p. 42.
- [841] John von Neumann, «The General and Lógica! Theory of Autómata», 20 de septiembre de 1948, en Lloyd A. Jeffress (ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, Hafner, Nueva York, 1951, p. 13.
- [842] Hannes Alfvén, «Electromagnetic Phenomena in the Motion of Gaseous Masses of Cós mica! Dimensions», en *Problems of Cosmical Aerodynamics. Proceedings of the Symposium on the Motion of Gaseous Masses of Cosmical Dimensions* , París, 16-19 de agosto de 1949, p. 44.
- [843] Hannes Alfvén, *On the Origin of the Solar System*, Oxford University Press, Oxford, 1954, p. 1.
- [844] Hannes Alfvén, «Cosmology: Myth or Science?», *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 1984, vol. 5, p. 92.
- [845] John von Neumann a Klára von Neumann, 11 de septiembre de 1954, KVN
- [846] Hannes Alfvén, nuevo prefacio inédito para *The Tale of the Big Computer*, febrero de 1981, Papeles de Alfvén, Bibliotecas de la Universidad de California en San Diego.
- [847] *Ibidem* .
- [848] *Ibidem* .
- [849] Hannes Alfvén [Olof Johannesson], *The Tale of the Big Computer*, Coward McCann, Nueva York, 1968, pp. 19-20.
- [850] *Ibidem* , p. 76.
- [851] *Ibidem* , pp. 55-56.
- [852] *Ibidem* , p. 51.
- [853] *Ibidem* , p. 96.
- [854] *Ibidem* , p. 84.
- [855] *Ibidem* , p. 86.
- [856] *Ibidem* , p. 105.

- [\[857\]](#) *Ibidem* , pp. 102-103.
- [\[858\]](#) *Ibidem* , p. 123.
- [\[859\]](#) Sean Parker, comunicación privada, 17 de julio de 2011.
- [\[860\]](#) Sergey Brin, 8 de septiembre de 2010.
- [\[861\]](#) Hannes Alfvén [Olof Johannesson], *The Tale of the Big Computer* , p. 125.
- [\[862\]](#) William C. Dement, «Ontogenetic Development of the Human Sleep-Dream Cycle», *Science*, vol. 152, n.º 3.722, 29 de abril de 1966, p. 604.
- [\[863\]](#) Nathaniel Hawthorne, *The House of the Seven Gables*, Ticknor, Reed & Fields, Boston, 1851, p. 283; Alan M. Turing, «Computing Machinery and Intelligence», *Mina*, vol. 59, n.º 236, octubre de 1950, p. 433.
- [\[864\]](#) Hannes Alfvén [Olof Johannesson], *The Tale of the Big Computer*, p. 116.
- [\[865\]](#) *Ibidem*, pp . 117-118.
- [\[866\]](#) Eva Wisten, comunicación personal, 25 de octubre de 2005 [GBD].
- [\[867\]](#) Hannes Alfvén [Olof Johannesson], *The Tale of the Big Computer*, p. 119.
- [\[868\]](#) *Ibidem* , p. 126.
- [\[869\]](#) Klára von Neumann, *The Computer*, c. 1963, KVN.
- [\[870\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Richard R. Mertz, 20 de enero de 1971.
- [\[871\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Final Report on Contract No. DA-36-034-ORD-1646 Part II: Computer Use», 1 de mayo de 1957, p. 10.0, IAS.
- [\[872\]](#) Harris Mayer, entrevista, 25 de mayo de 2011 [GBD].
- [\[873\]](#) Hans J. Maehly a J. Robert Oppenheimer, 21 de agosto de 1957, IAS.
- [\[874\]](#) Hans Maehly, «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Final Report on Contract No. DA-36-034-ORD-1646 Part II: Computer Use, for the period 1 July 1954 to 31 December 1956», mayo de 1957, p. 140, IAS.
- [\[875\]](#) Bryant Tuckerman, «Report on Post Mortem Routine», s.f, IAS.
- [\[876\]](#) Hans Maehly, «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project, Final Report...», p. 111, IAS.
- [\[877\]](#) Julian Bigelow, entrevista con Nancy Stern, 12 de agosto de 1980, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 3.
- [\[878\]](#) Arthur W. Burks, Herman H. Goldstine y John von Neumann, *Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument* , Instituto de Estudios Avanzados, Princeton (NJ), 28 de junio de 1946, p. 23.
- [\[879\]](#) «Institute for Advanced Study Electronic Computer Project Monthly Progress Report, January 1957», p. 3, IAS.
- [\[880\]](#) Henry D. Smyth al doctor Leonard Carmichael, 11 de junio de 1958, IAS.
- [\[881\]](#) Julian Bigelow a John R. Pasta, 6 de junio de 1958 QHB].
- [\[882\]](#) Martin Schwarzschild a Hedi Selberg, 6 de junio de 1958, cortesía de Lars Selberg.
- [\[883\]](#) Herman Goldstine a Garrett Birkhoff, 28 de enero de 1954, IAS.
- [\[884\]](#) S. Kidd a R. Vogt, 30 de noviembre de 1959 QHB].
- [\[885\]](#) James I. Armstrong a Julian H. Bigelow, 7 de enero de 1960 QHB].
- [\[886\]](#) Colin S. Pittendrigh a Cari Kaysen, 31 de octubre de 1966, IAS.
- [\[887\]](#) J. Robert Oppenheimer, anotación en Roald Buhler a J. Robert Oppenheimer, 30 de septiembre de 1966, IAS.
- [\[888\]](#) John von Neumann, perfil biográfico de J. H. Bigelow, 14 de noviembre de 1950, IAS.
- [\[889\]](#) J. H. Bigelow, J. H. Pomerene, R. J. Slutz y W. Ware, «Interim Progress Report on the Physical Realization of an Electronic Computing Instrument», Instituto de Estudios Avanzados, Princeton (NJ), 1 de enero de 1947.
- [\[890\]](#) Willis H. Ware, entrevista con Nancy Stern, 19 de enero de 1981 n.º 37.
- [\[891\]](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 9 de noviembre de 1946, KVN

- [18921](#) «History of the National Bureau of Standards Program for the Development and Construction of Large-Scale Electronic Computing Machines», s.f.i, aparentemente de finales de 1949 QHB].
- [18931](#) Herman Goldstine y John von Neumann al general Leslie R. Groves, 14 de junio de 1949 [VNBC].
- [18941](#) Ralph E. Gomory, «Herman Heine Goldstine, 13 September 1913-16 June 2004», *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 150, n.º 2, junio de 2006, p. 368.
- [18951](#) Jack Rosenberg, memorias inéditas, 21 de mayo de 2008.
- [18961](#) Jack Rosenberg, entrevista, 12 de febrero de 2005 [GBD].
- [18971](#) Gerald y Thelma Estrin, entrevista, 14 de abril de 2005 [GBD].
- [18981](#) Andrew Booth, 26 de febrero de 2004.
- [18991](#) Harris Mayer, entrevista, 25 de mayo de 2011 [GBD].
- [19001](#) Memorando del agente especial al mando del FBI en Nueva York al director del FBI (Anexo: «Sección de Enlace»), 25 de agosto de 1955 [PM].
- [19011](#) Beatrice Stern, notas sobre una conversación con Jean Flexner Lewinson, 23 de octubre de 1955 [IAS-BS].
- [19021](#) Lewis F. Richardson, «The Distribution of Wars in Time», *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 107, n.º 3-4, 1944, p. 248.
- [19031](#) Norbert Wiener, en «Revolt of the Machines», *Time*, vol. 75, n.º 2, 11 de enero de 1960, p. 32.
- [19041](#) Stanislaw Ulam, «Further Applications of Mathematics in the Natural Sciences», 1981, reprod. en *Science, Computers and People: From the Tree of Mathematics*, Birkhauser, Boston (MA), 1986, p. 153.
- [19051](#) Edward Teller, «The Road to Nowhere», *Technology Review*, 1981, reprod. en *Better a Shield than a Sword: Perspectives on Déjà-vu and Technology*, Free Press, Nueva York, 1987, pp. 118-120.
- [19061](#) Edward Teller, entrevista, 22 de abril de 1999 [GBD].
- [19071](#) «JmcD» a John von Neumann, «A note regarding what we talked about last Wednesday», s.f, c. 1956 [VNBC].
- [19081](#) Capitán I. R. Maxwell a Klára von Neumann, 24 de marzo de 1957, KVN.
- [19091](#) Verna Hobson (IAS), notas sobre una conversación telefónica entre J. Robert Oppenheimer y el capitán I. Robert Maxwell, 2 de octubre de 1957, KVN.
- [19101](#) Tras la muerte de Klára, el juez de instrucción del condado de San Diego informaba de que «estaba casada por quinta vez». Y su autobiografía —que empieza afirmando: «Dicen que los gatos tienen siete vidas; yo solo tengo cinco»— menciona a un «maharajá de fama notoria» que «me invitó a residir en su palacio, aunque aquella prometedora aventura no llegó a consumarse [debido a] la rápida y decidida acción de mi, más que alarmado, colérico padre».
- [19111](#) Klára von Neumann, *The Grasshopper*, c. 1963, KVN.
- [19121](#) «Klára Eckart, edad 52 años, hallada el 10 de noviembre de 1963», informe de la investigación del juez de instrucción n.º 1772-63, condado de San Diego, 18 de noviembre de 1963.
- [19131](#) Klára von Neumann, *The Grasshopper*, c. 1963, KVN.
- [19141](#) Paul Baran, entrevista con Judy O'Neill, 5 de marzo de 1990, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 182.
- [19151](#) Paul Baran, «On Distributed Communications», Corporación RAND, memorando RM-3420-PR, agosto de 1964, 11 partes.
- [19161](#) Paul Baran, entrevista con Judy O'Neill, 5 de marzo de 1990, Instituto Charles Babbage, Historia Oral n.º 182.
- [19171](#) J. D. Williams a John von Neumann, 18 de octubre de 1951 [VNBC].
- [19181](#) Harris Mayer, entrevista, 25 de mayo de 2011 [GBD].
- [19191](#) Robert Richtmyer a Nicholas Metrópolis, 11 de enero de 1956 [VNBC].
- [19201](#) Robert D. Richtmyer, «The Post-War Computer Development», *American Mathematical Monthly*, vol. 72, n.º 2, parte 2, febrero de 1965, p. 14.

- [\[9211\]](#) Freeman Dyson, «Birds and Frogs», *Notices of the American Mathematical Society*, vol. 56, n.º 2, febrero de 2009, p. 220.
- [\[9221\]](#) Benoît Mandelbrot, entrevista, 8 de mayo de 2004 [GBD].
- [\[9231\]](#) John von Neumann a Klára von Neumann, 8 de septiembre de 1954, KVN
- [\[9241\]](#) Saunders Mac Lañe, «Oswald Veblen, June 24, 1880-August 10, 1960», *Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences*, 37, Columbia University Press, Nueva York, 1964, p. 334.
- [\[9251\]](#) Klára von Neumann, *Two New Worlds*, c. 1962, KVN.
- [\[9261\]](#) Marston Morse a Frank Aydelotte, 5 de junio de 1941, IAS.
- [\[9271\]](#) Marston Morse, «Mathematics and the Arts», leído en un congreso en honor de Robert Frost, Universidad Kenyon, 8 de octubre de 1950, IAS.
- [\[9281\]](#) Kurt Gödel a John von Neumann, 20 de marzo de 1956, en Solomon Feferman (ed.), *Collected Works*, vol. V, Oxford University Press, Oxford, 2003, p. 375 [original alemán en VNBC].
- [\[9291\]](#) Funeral en memoria de Julian Bigelow, 29 de marzo de 2003 [GD].
- [\[9301\]](#) *Ibidem* .
- [\[9311\]](#) Rush Taggart, entrevista, 19 de mayo de 2005 [GBD].

Notas especiales

- [\[II\]](#) De este último hay trad. cast.: *John von Newman y los orígenes de la computación moderna* , Gedisa, Barcelona, 1993. (N. del T.)
- [\[III\]](#) Hay trad. cast.: *Teoría matemática de la comunicación*, Forja, Madrid, 1981. (N. del T.)
- [\[IIII\]](#) Hay trad. cast.: *Teoría de la clase ociosa*, Alianza, Madrid, 2004. (N. del T.)
- [\[IIV\]](#) Hay trad. cast: *Teoría de la empresa de negocios*, Comares, Granada, 2009. (N. del T.)
- [\[IV\]](#) En inglés *human computen*. Se trataba de personas contratadas para realizar cálculos matemáticos, solo con papel y lápiz o con la ayuda de máquinas manuales, antes de que se dispusiera de ordenadores electrónicos. No debe confundirse con la acepción moderna del término, que designa a personas con dotes prodigiosas para el cálculo mental. (N. del T.)
- [\[IIV\]](#) En inglés *high tables*. En algunas universidades del Reino Unido, mesas normalmente situadas sobre una tarima en los comedores universitarios y reservadas al cuerpo docente, que se sienta así a mayor altura que los estudiantes. (N. del T.)
- [\[IIVII\]](#) Se refiere a un poema de Oliver Wendell Holmes titulado «La obra maestra del diácono». (N. del T.)
- [\[IIVIII\]](#) Hay trad. cast: *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica*, CSIC, Madrid, 1991. (N. del T.)
- [\[IXI\]](#) Esto es, con la naturaleza, o la esencia, de Princeton. (N. del T.)
- [\[IXI\]](#) Una máquina para componer textos, similar a una máquina de escribir, pero que permitía justificar las líneas y cambiar los tipos. (N. del T.)
- [\[IXII\]](#) Literalmente, el «desbombardeador». (N. del T.)
- [\[IXIII\]](#) La frase alude a dos familias de la clase alta de Boston. (N. del T.)
- [\[IXIIII\]](#) Uno de los términos que en inglés designan un circuito biestable. (N. del T.)
- [\[IXIIV\]](#) Trad. cast.: *La última y la primera humanidad*, Minotauro, Madrid, 2003. (N. del T.)
- [\[IXIIV\]](#) Normalmente, el término *tiempo* alude a la actividad de los fenómenos meteorológicos durante un período de días o semanas, mientras que se denomina *clima* a la «síntesis del tiempo, a lo largo de un período suficientemente largo, de aproximadamente treinta años, para que sea posible establecer sus propiedades estadísticas globales...» (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España, *Diccionario esencial de las ciencias*). (N. del T.)
- [\[IXIIVII\]](#) Ponche a base de ron, coñac y aguardiente de melocotón. (N. del T.)
- [\[IXIIVIII\]](#) Una modalidad de solitario que debe su nombre al propietario de casino que supuestamente lo inventó. (N. del T.)

[lxxviii](#) En física nuclear, el término inglés *shake* (literalmente, «sacudida») es una unidad informal de tiempo equivalente a 10 nanosegundos, o una cienmillonésima de segundo. Su uso se juzgó conveniente en la atmósfera de alto secreto que rodeaba al Proyecto Manhattan, y proviene de la expresión inglesa *in two shakes of a lamb's tail*, equivalente, entre otras, a la española «en un santiamén». (*N. del T.*)

[lxxxi](#) Una investigación emprendida por la Comisión de Energía Atómica estadounidense, que finalmente daría como resultado la revocación de la acreditación de seguridad de Oppenheimer. (*N. del T.*)

[lxxx](#) O «superbomba de uranio enriquecido» (*oralloy* era el nombre en clave del uranio enriquecido en el Proyecto Manhattan), también conocida como Mark 18. (*N. del T.*)

[lxxxi](#) Tras su desclasificación, en 1961, el Proyecto Matterhorn se convertiría en el actual Laboratorio de Física del Plasma de Princeton. (*N. del T.*)

[lxxxii](#) Véase la nota sobre las «calculadoras humanas» en el capítulo 3. (*N. del T.*)

[lxxxiii](#) Tras su desclasificación, en 1961, el Proyecto Matterhorn se convertiría en el actual Laboratorio de Física del Plasma de Princeton. (*N. del T.*)

[lxxxiv](#) El nombre aludía a un ilustrador británico, William Heath Robinson, famoso por dibujar máquinas ficticias enormemente complicadas para realizar tareas sencillas (algo similar al célebre «profesor Franz de Copenhague» del tebeo español). (*N. del T.*)

[lxxxv](#) Hay trad. cast: *El ordenador y el cerebro*, Bon Ton, Barcelona, 1999. (*N. del T.*)

[lxxxvi](#) Literalmente, «SETI en casa» (SETI es el acrónimo inglés de «búsqueda de inteligencia extraterrestre»). (*N. del T.*)

[lxxxvii](#) Véase el epígrafe del capítulo 4. (*N. del T.*)

[lxxxviii](#) En inglés *kilobucks*, un término coloquial empleado en ingeniería y derivado de *buck*, «pavo» (dólar); 50 «kilopavos» equivalen, pues, a 50.000 «pavos» o dólares. (*N. del T.*)

[lxxxix](#) El nombre inicial de la empresa, que luego se convirtió en la ya mencionada Eckert-Mauchly Computer Corporation. (*N. del T.*)