

JOHN VON NEUMANN Y EL COMPUTADOR MODERNO¹

Diego Pareja Heredia. *Universidad del Quindío.*

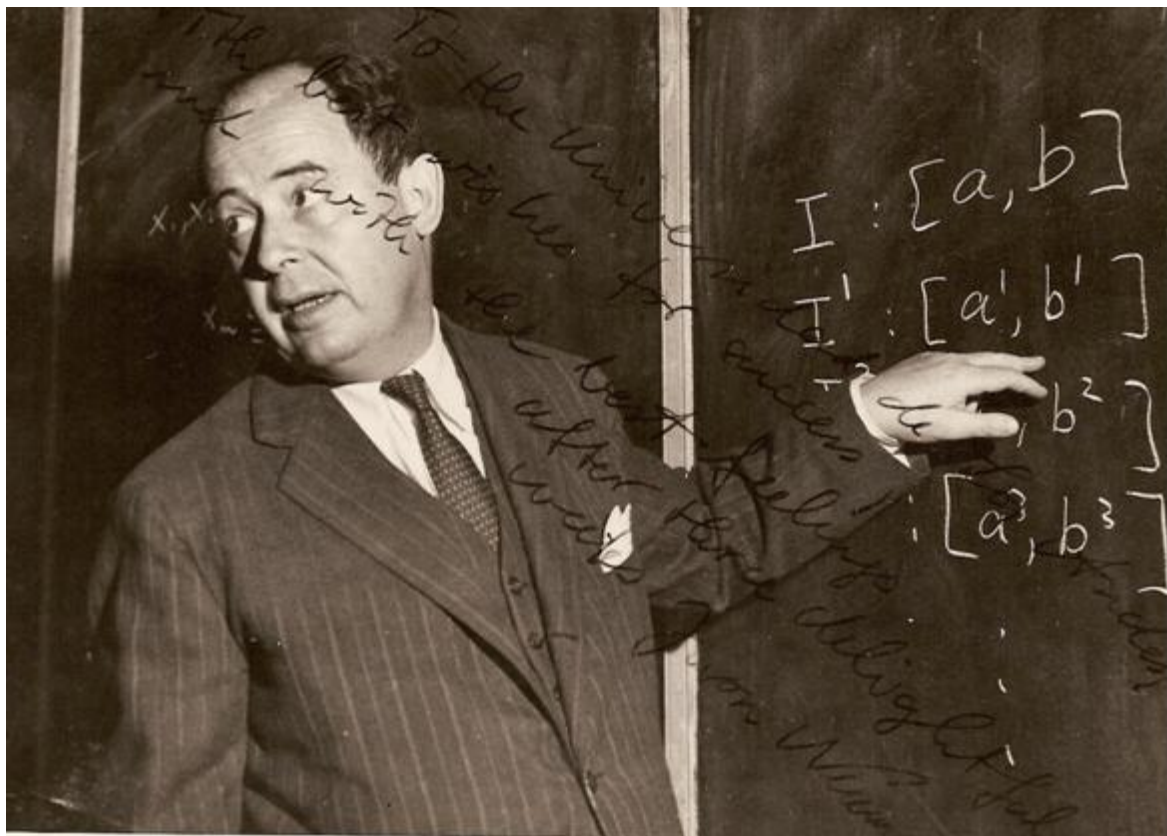


Foto tomada en una charla en la Universidad de los Andes, Bogotá, en la visita que John von Neumann hizo alrededor de 1954. La dedicatoria de su puño y letra dice “A la Universidad de los Andes mis mejores deseos de éxito y mis mejores sentimientos después de tres agradables semanas. John von Neumann”.²

¹ Este artículo se publicó originalmente en *Matemáticas-Enseñanza Universitaria*, No. 27, Junio de 1983 y se edita y pone al día como homenaje al gran matemático húngaro-americano, al cumplirse en 2007, cincuenta años de su desaparición.

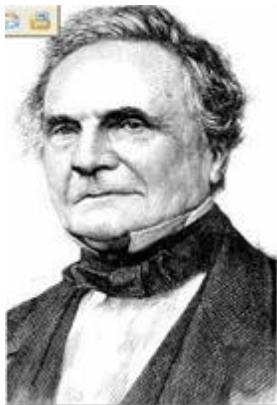
² Foto de la colección de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, publicada con autorización.

1. – INTRODUCCIÓN.

El computador, entendido en el sentido moderno, fue concebido por el matemático inglés Charles Babbage (1792-1871). Diseñada por él, la *máquina analítica*, tenía en teoría, todas las características que identifican a un computador. Estas características pueden sintetizarse en las siguientes unidades:

1. *Dispositivo de entrada*, a través de los cuales la máquina recibe la información que va a ser procesada.
2. *Unidad aritmética o de procesamiento*, cuya función es efectuar las operaciones numéricas.
3. *Unidad de control*, que asegura que la máquina realice una tarea y no otra y que las operaciones numéricas se sucedan en la secuencia correcta.
4. *Unidad de almacenamiento o memoria*, donde los datos esperan su turno para ser procesados.
5. *Unidad de salida*, a través de la cual la máquina expresa los resultados parciales o finales de la computación.

La ingeniería mecánica de su tiempo, aún en estado incipiente, no permitió a Babbage llevar a feliz culminación sus proyectos de construcción definitiva de tan fabulosa máquina.



CHARLES BABBAGE (1792-1871)
Creador de la máquina analítica, el prototipo del computador moderno.



ALAN M. TURING (1912-1954)
Uno de los lógicos más destacados del siglo XX y precursor del computador.

Las ideas en torno al diseño y construcción del computador, vinieron a cristalizarse, principalmente, en la Gran Bretaña y Estados Unidos en la década de 1940. Esto fue consecuencia de la necesidad, en parte, de quebrar los códigos secretos alemanes en la II Guerra Mundial, y en parte, de calcular trayectorias balísticas, de resolver numéricamente problemas de hidrodinámica y en general problemas relacionados con ecuaciones

diferenciales. En Bletchley Park, Inglaterra, se construyó toda una serie de máquinas, con el propósito de descifrar los mensajes estratégicos alemanes. La serie culminó con la construcción del computador COLOSSUS, que empezó a funcionar en 1943, empleando, por primera vez, tubos al vacío como unidades básicas. La información se llevaba al computador a través de cinta perforada, la que era leída por éste, a una velocidad de cinco mil caracteres por segundo. Hay quienes conceptúan que el Colossus ganó la guerra para los aliados. Su aseveración se fundamenta en el hecho que, con el computador inglés se lograron descifrar los mensajes estratégicos de la codificadora alemana ENIGMA, diseñada por los alemanes para cifrar los mensajes que llevaban las órdenes de ataque; de los mandos superiores hacia los barcos y aviones encargados de las acciones bélicas. Encabezando el grupo que diseñó el Colossus, aparece la brillante figura del ALAN M. TURING (1912 - 1954). A él debemos los primeros cimientos de la teoría de la computación (ver por ejemplo la teoría de las máquinas de Turing en [5]).³

John von Neumann es sin lugar a dudas, el último matemático de mente universalista, forjado al estilo de David Hilbert (1862-1943) y de Henri Poincaré (1854-1912). Nació en Budapest el 28 de diciembre de 1903 en el seno de una familia económicamente solvente. Su educación, hasta los diez años, fue dirigida por tutores. A esta edad temprana, sus profesores descubrieron su gran predisposición hacia las matemáticas. En 1921, con sólo 18 años, era reconocido como matemático profesional debido a sus aportes iniciales a las matemáticas. En la Universidad de Budapest se registró como estudiante de matemáticas, pero la mayor parte del tiempo permanecía en el Instituto Tecnológico Estatal de Zurich, donde figuraba como estudiantes de química.



La codificadora **ENIGMA** empleada por los alemanes en la II guerra mundial.

3) Para una descripción elemental de la máquina de Turing, ver : Sadosky, M. *Como construir una computadora con papel y lápiz. Lecturas Matemáticas, Vol I, No. 3.* 1980

A Budapest venía únicamente a presentar exámenes finales, Recibió el grado en química, casi simultáneamente con su doctorado "suma cum laude" en matemáticas en la Universidad de Budapest. Hermann Weyl (1885 - 1955), quien sería su colega en Princeton, George Polya (1887-1985), uno de los más grandes profesores de matemáticas, y Erhard Schmidt (1876 -1967), el brillante discípulo de Hilbert entre otros, fueron sus orientadores durante su carrera universitaria.

En 1927, fue nombrado profesor de la Universidad de Berlín, probablemente en esa época, la persona más joven que desempeñaba tal cargo en toda Alemania. De la década 1920 - 1930, proviene su producción en Teoría de Conjuntos, Lógica Matemática, Álgebra, Teoría Cuántica, Teoría Ergódica, Geometría Continua y muchas áreas de matemáticas puras, que lo harían internacionalmente conocido. Después de trabajar un año como docente en la Universidad de Hamburgo, fue invitado en 1930 a la Universidad de Princeton, Estados Unidos. En 1933 entró a formar parte del recién fundado Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. En el Instituto se dio cita una pléyade de matemáticos y físicos nunca antes visto en otro lugar, solo comparables con aquel grupo de científicos reunidos en torno a Hilbert en los bellos tiempos de la Universidad de Gotinga, en Alemania. Eran las estrellas más brillantes, Albert Einstein, Robert Oppenheimer, Hermann Weyl, Oswald Veblen, Marston Morse, James Alexander y desde luego, John von Neumann.

Antes de vincularse al Instituto de Estudios Avanzados, su obra *Fundamentos Matemáticos de la Mecánica Cuántica*, ya se había constituido en verdadero clásico en la materia. Allí se refleja el espíritu formalista de Hilbert, de quien von Neumann fue, además de admirador, su asistente en Gotinga en 1924. No obstante su formación en áreas consideradas puras, como la lógica, la topología y el álgebra, buena parte de su producción intelectual, cae en el terreno de las matemáticas aplicadas. Este es el caso con su libro *Teoría de Juegos y comportamiento Económico*, escrito en conjunción con el economista Oskar Morgenstern, que amén de ser su colega en Princeton, había pasado previamente por el que sería famoso, Coloquio de Viena, dirigido por Karl Menger. En él se describe una teoría matemática de los juegos, la que incluye el concepto de estrategia y un modelo matemático aplicable al comportamiento de determinadas economías. A von Neumann debemos el teorema fundamental de la teoría de juegos, conocido como Teorema Mínimax. Este resultado garantiza la existencia de estrategias óptimas para ciertas clases importantes de juegos. El teorema Mínimax causaría impacto, aún en áreas lejanas a la teoría de juegos, originando un flujo de doble vía entre éstas últimas y las matemáticas. Por ejemplo, las ciencias sociales salieron favorecidas con el trabajo de von Neumann y a su vez las matemáticas se enriquecieron con sus métodos y nuevos enfoques.

Como matemático, von Neumann, fue brillante, eficiente y con una universalidad de intereses científicos, increíble. En los años 1935-1936 trabajaba en Geometría Continua y clases de operadores en espacios de Hilbert. Estos conceptos fueron desarrollados por él, con el propósito de aplicarlos a la teoría cuántica, muy en boga por esa época. De los años 30 también proceden sus trabajos sobre flujos supersónicos y turbulencias de fluidos. Para el comienzo de la II Guerra Mundial, von Neumann era catalogado como experto en el estudio de problemas relativos a ondas de choque y detonación. Esto inevitablemente lo

llevó a formar parte de equipos científicos involucrados en proyectos de carácter bélico. Este era el caso del Laboratorio de Investigación de Balística en Aberdeen, Pennsylvania y del Proyecto Manhattan en Los Álamos, New México, que desembocaría en la construcción de la bomba atómica



John von Neumann, Princeton, 1932.

Von Neumann y los primeros computadores.

El tipo de problemas que John von Neumann tuvo que atacar en tiempos de la II Guerra Mundial, particularmente aquellos relacionados con ecuaciones diferenciales parciales no lineales, lo impulsaron hacia la investigación en computadores. Estos problemas no se resuelven en forma explícita, sólo se llega a soluciones en forma aproximada a través de la computación. Sus trabajos en hidrodinámica, por ejemplo, no habrían resultado exitosos, de no ser por el computador.

Su contacto directo con un computador, tuvo lugar como consecuencia de un encuentro imprevisto con Herman Goldstine, uno de los primeros científicos en el diseño y construcción del computador electrónico. Así describe Goldstine, su encuentro con von Neumann en 1944.

“... Mientras esperaba en plataforma, el tren que me llevaría de Aberdeen a Filadelfia, me encontré de repente con von Neumann. Aun que era la primera vez que conversaba con este gran matemático, para mí él no era del todo desconocido, por cuanto que había tenido la oportunidad de escucharle conferencias en varias ocasiones. Fue, pues, con mucha circunspección y recato que me acerqué y me auto presenté. Afortunadamente para mí, von

Neumann era una persona cálida y amigable, quien se esforzaba por hacer que la gente que lo abordaba, se sintiera confortable en su presencia. La conversación pronto desembocó en temas concernientes a mi trabajo. Cuando von Neumann se percató de mi actividad relacionada con la construcción de un computador electrónico capaz de efectuar 333 multiplicaciones por segundo, la atmósfera de nuestra conversación, cambió de su estado de buen humor, a algo parecido a un examen oral de candidatura al grado de Doctor en Matemáticas ..."

" ... Poco después, los dos fuimos a Filadelfia con el propósito de que von Neumann observara el proceso de construcción del ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator). No olvidaré nunca la reacción de mi colega John Ecker, ante la imprevista visita, `yo podré determinar`, dijo Ecker, `si nuestro visitante es, o no, realmente un genio, según sea su primera pregunta. Si von Neumann pregunta por la estructura lógica del computador, admitiré que es un genio`. En, efecto, esa fue su primera pregunta..."

Desde el encuentro con Goldstine, hasta su prematura muerte, von Neumann estuvo, directa o indirectamente, vinculado al desarrollo del computador, tanto en su diseño y programación, como en su arquitectura. Ayudó a modificar parte del diseño lógico y matemático del ENIAC. En 1945 empezó a influir significativamente en el diseño lógico del computador EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer), que se construía en la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pennsylvania. Por este tiempo, desempeñaba aquí, el cargo de consultor científico. Goldstine conceptúa que von Neumann, fue la primera persona en entender explícitamente que, el computador esencialmente efectúa funciones lógicas; y que los aspectos eléctricos sólo son auxiliares o accesorios. Estudió en detalle las funciones del computador y sus mutuas interacciones. Uno de sus grandes logros de esta época, fue el concebir la idea de que los programas que el computador debe realizar, pueden, al igual que los datos, almacenarse en su memoria. También a él se debe la formulación de métodos fundamentales para trasladar, un conjunto de procesos matemáticos a instrucciones de computador. Esto incluye, por supuesto, los conceptos de diagramas de flujo.

El Cerebro, El computador y la Teoría de Autómatas.

John Von Neumann dedicó mucho esfuerzo y concentración al estudio de la analogía entre el cerebro y el computador. Durante el periodo 1945-1955, participó en seminarios de neurología y psiquiatría. Buscó a través de distintos medios, ambientarse en el conocimiento de los complejos mecanismos del cerebro y del sistema nervioso. En el diseño del computador, buscó sistemáticamente la forma de imitar las funciones del cerebro humano, en particular en lo que a su confiabilidad se refiere.

Los resultados de su esfuerzo en la implementación del programa de un computador y en su propio diseño, vendrían a constituirse en los primeros aportes a la naciente *Teoría de Autómatas*. La teoría de autómatas es un área interdisciplinaria, que linda, con las matemáticas en el campo de la lógica simbólica y la teoría de las máquinas de Turing; con la ingeniería, en la construcción de computadores de múltiples propósitos y con la neurofisiología en el área de las redes y complejos neuronales. Los problemas que se

plantean en esta teoría, van desde los relativos a máquinas de Turing y procesos de decidibilidad, hasta cuestiones relacionadas con la simulación por medio de las máquinas, de fenómenos propiamente biológicos, como son, la adaptación al medio, la auto reproducción y la auto reparación.



Vista parcial del ENIAC. La máquina contenía 18.000 tubos al vacío y 1500 relés.

La teoría de autómatas fue el campo ideal para von Neumann, por cuanto en ella se entrelazan muchas áreas de matemáticas puras y aplicadas. Su formación lógica y su vasto conocimiento de las matemáticas aplicadas, le permitieron profundizar, y consecuentemente sistematizar en un cuerpo coherente, la teoría de autómatas. Cabalmente, su obra póstuma, "*El computador y el cerebro*", es un intento de sistematizar los nexos existentes entre el funcionamiento del cerebro y de los computadores.

Buena parte de su potencial creativo estuvo orientado hacia el diseño lógico de autómatas supereficientes a partir de componentes de dudosa confiabilidad. El problema surge a la luz del estudio del comportamiento del cerebro humano. En efecto, el cerebro, no obstante la vulnerabilidad de sus componentes (neuronas, neurotransmisores, etc.), se caracteriza por su gran eficiencia. Se sabe, por ejemplo, que aunque partes enteras del cerebro quedan inutilizadas, éste, sigue aún funcionando extraordinariamente bien.

Para atacar estos problemas, von Neumann recurrió a un modelo análogo al de McCulloch -Pitts para redes neuronales. En este modelo la unidad primaria es la neurona. La neurona se caracteriza, por poseer unidades de entrada, las dentritas y una sola unidad de salida, el axón. Este modelo lo extiende von Neumann, admitiendo la posibilidad de que la neurona posea una unidad de salida formada por un haz de axones. La respuesta binaria (sí, no) de la neurona, dependerá entonces, de la respuesta afirmativa o negativa que salga de la mayoría del haz.

Introdujo un artificio denominado *Multiplex*, para el diseño de autómatas de gran confiabilidad. Específicamente, a partir de 60000 unidades básicas, cada una con probabilidad de falla de $1/200$, logró el diseño de autómata cuya probabilidad de falla sólo

era de 10^{-20} . Tomando como referencia el número de neuronas en el cerebro, podría entonces, construirse un autómata de igual complejidad que el cerebro, del cual podría esperarse, en promedio, una falla en el transcurso de cien años de operación.



**John Von Neumann y Robert Oppenheimer
junto al computador de Princeton.**

Otra rama de interés, visitada por von Neumann, fue aquella relacionada con las máquinas auto reproductoras. Concretamente, él indica cómo, a máquinas del tipo Turing, puede incluirse un programa que las convierta en auto reproductoras. En el área de la teoría de autómatas, los aportes de von Neumann, abrieron nuevos campos de exploración, cuya vigencia es hoy aún más importante debido a las nuevas tecnologías. Fue una verdadera lástima que su muerte prematura truncara la conclusión de su obra.

El EDVAC y el computador de Princeton.

Los computadores ENIAC Y EDVAC, diseñados y construidos en la Universidad de Pennsylvania, se constituyeron en la cristalización de los desarrollos teóricos llevados a cabo por von Neumann. Terminada la II Guerra Mundial, von Neumann volvió a la escuela de Estudios Avanzados en Princeton. Junto a Herman Goldstine trabajó en el diseño del computador para la Universidad de Princeton. El proyecto de construcción fue multifacético, si se tiene en cuenta que, en él convergían problemas de ingeniería, lógica formal, diseño lógico, programación, amén de otras aplicaciones de carácter revolucionario. Entre estas, algunas cuestiones relacionadas con meteorología numérica, que dieron origen a los métodos de predicción del tiempo.

A finales de 1945, se fijaron los objetivos que el proyecto perseguía. La máquina sería un computador de uso múltiple. Aunque, esencialmente digital, podría tener como alternativas de entrada y salida, unidades que procesaran variables continuas, aunque no en el sentido estricto, de ser un computador analógico, como otros previamente inventados, sino mas bien en el sentido, por ejemplo de convertir ecuaciones diferenciales, en ecuaciones de diferencias, y a estas resolverlas por métodos numéricos. Sus programas, al igual que los datos a procesar, se almacenarían en la misma memoria del computador. Esta idea de

conseguir que el computador guardara en su memoria, en forma digital, las instrucciones de su propio manejo, es decir, su programa de procesamiento, fue un paso gigantesco en el desarrollo de la historia del computador. Los alcances de este prototipo de computador, en el sentido operativo, iban a revolucionar los métodos numéricos. Sus aplicaciones estaban en las ecuaciones diferenciales parciales no lineales, en la hidrodinámica y aerodinámica, en el estudio de las ondas de choque, la mecánica cuántica, la electrodinámica, la teoría de elasticidad y la óptica. Ni la astronomía, ni la estadística serían ajenas a las aplicaciones del computador.

Decía von Neumann, que si el computador se usa inteligentemente, nuestras técnicas de cálculo cambiarán revolucionariamente. El computador en proyecto, sería 10000 veces más veloz que una calculadora de escritorio, lo que implicaría un cambio radical en los métodos de cálculo. En uno de los memorandos relativos a la construcción del computador, von Neumann afirma que, el trabajo principal de la máquina, será aquel, en el cual la máquina misma, se convierta en herramienta experimental. Esto significa que el computador podría utilizarse como simulador de experimentos, que de otro modo serían demasiado costosos o imposibles de realizar en la realidad misma. Esta apreciación cobra hoy singular importancia, si se tiene en cuenta que, el computador está llegando a formar parte indispensable en todas las áreas experimentales y como se aprecia hoy, una parte insustituible de nuestra vida cotidiana y con él, como punto de partida, todo un horizonte de oportunidades de exploración se presenta ante nosotros.

Con el trabajo hecho por von Neumann y sus colaboradores de Princeton, se sientan las bases de una sólida estructura, la ciencia del computador. Esta es, a no dudarlo, una parte trascendental de la ciencia moderna. El computador de la Universidad de Princeton, sirvió de modelo para la construcción del MANIAC, el computador, para el laboratorio científico A lo largo de este artículo hemos mencionado, aunque no descrito “*in extenso*”, algunos de los aportes de John von Neumann. El lector interesado podrá hallar un estudio detallado del trabajo multifacético de von Neumann en las obras listadas en la bibliografía. Particular mención merece la entrega del Boletín de la American Mathematical society [10], dedicado totalmente a describir los aportes de este gran intelecto del siglo XX.

A von Neumann se le otorgó el honor de presidir las *Silliman Memorial Lectures* para 1957. Estas conferencias están consideradas como las más antiguas e importantes de cuantas se organizan en Estados Unidos. Patrocinadas por la Universidad de Yale, las exposiciones toman forma de libro, que posteriormente la universidad se encarga de publicar. A causa de su prematura muerte, tras una penosa enfermedad, las conferencias no pudieron llevarse a cabo. Sin embargo el manuscrito que venía preparando, se empleó para editar el pequeño libro *The Computer and the Brain* [6], publicado por la Universidad de Yale. En él se sintetiza buena parte de lo que el autor aportó a la ciencia del computador.

de Los Álamos, Nuevo México. El MANIAC se usó extensivamente en la solución de problemas de física y astrofísica. En particular, para hallar soluciones numéricas a problemas relacionados con sistemas dinámicos, como en el caso de las vibraciones no lineales. La influencia ejercida por von Neumann en la ciencia del computador se extendió

hasta Inglaterra. Mientras se construía el ENIAC y el EDVAC en la Universidad de Pensilvania, varios científicos ingleses estuvieron en contacto con von Neumann y su equipo de trabajo. Entre ellos, Douglas Hartree, Maxwell H. A. Newman, Maurice V. Wilkes, Frederick C. Williams y Alan M. Turing. Estos científicos serían los organizadores de varios proyectos conducentes a la construcción de computadores de varios tipos en el Reino Unido.



John Von Neumann y el profesor Henri Yerli en la Universidad de los Andes alrededor de 1954 (Gentileza del Profesor Yerli).

Como puede observarse en la cronología que sigue, von Neumann perteneció a la junta de consejeros de la Universidad de los Andes en Bogotá. Por los años de 1950, visitó la universidad y dictó una serie de conferencias. De esta época datan las fotografías, que por gentileza del Profesor Henri Yerli y del Departamento de Matemáticas de la mencionada universidad, nos permitimos reproducir en este trabajo.

JOHN VON NEUMANN, CRONOLOGIA

- 1903 Nace en Budapest, Hungría, Diciembre 28
- 1930-1933 Profesor visitante, Universidad de Princeton
- 1933-1957 Profesor de Matemáticas, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton, New Jersey.
- 1937 Expositor Honorario Gibbs, Expositor de Coloquio y Premio BÔCHER. American Mathematical Society.
- 1940-1957 Comité de asesoría Científica, Ballistics Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Maryland.
- 1941 U. S. Navy Bureau of Ordnance, Washington, D.C.
- 1943-1955 Los Alamos Scientific Laboratory (Atomic Energy Commission), Los Alamos, New Mexico.
- 1945-1957 Director Proyecto Computador Electrónico, Instituto de Estudios Avanzados, Princeton, N. J.
- 1947 Doctor HONORIS AUSA, Universidad de Princeton; Medalla Presidencial al Mérito; Medalla por Servicios Civiles Distinguidos, U. S. Navy.
- 1947-1955 Naval Ordnance Laboratory, Silver Spring, Maryland.
- 1949-1953 Junta Directiva de Investigación y Desarrollo, Washington, D.C.
- 1949-1954 Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- 1950 Doctor HONORIS CAUSA, Universidad de Pennsylvania y Universidad de Harvard.
- 1950-1955 Armed Forces Special Weapons Project, Washington D.C. Weapons System Evaluation Group, Washington, D. C.
- 1950-1957 Miembro Junta de Consejeros, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- 1951-1953 Presidente de la American Mathematical Society.
- 1951-1957 Junta de Consejeros Científicos, U. S. Air Force, Washington, D.C.
- 1952 Doctor Honoris Causa, Universidad de Estambul; Case Institute of Technology; Universidad de Maryland.
- 1952-1954 Miembro Comité General Consejeros, U. S. Atomic Energy Commission, Washington, D. C. (Nombramiento Presidencial)
- 1953 Doctor HONORIS CAUSA, Instituto Politécnico de Munich; Expositor en las *Vanuxem Public Lectures*, Princeton University.
- 1953-1957 Technical Advisory Panel on Atomic Energy, Washington, D.C.
- 1955-1957 U. S. Atomic Energy Commission (Nombramiento Presidencial)
- 1956 Medalla de la Libertad (Reconocimiento Presidencial); Medalla Conmemorativa Albert Einstein; Medalla Enrico Fermi.
- 1957 Muere en Washington, D. C. Febrero 8.

Academias y sociedades científicas de las que John von Neumann fue miembro.

- Academia Nacional de Ciencias Exactas, Lima, Perú.
- Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, Italia.
- Academia Americana de Artes y Ciencias, Estados Unidos.
- Sociedad Americana de Filosofía, Estados Unidos.
- Istituto di Science e Lettere, Milán, Italia.
- Academia Nacional de Ciencias, Estados Unidos.
- Academia Real Holandesa de Ciencias y Letras, Ámsterdam.

La anterior cronología es tomada de [1].

BIBLIOGRAFÍA

1. BOCHNER, Salomon. *John von Neumann*. National. Academy of Sciences, Biographical Memoirs, vol. 32 (1958).
2. DAVIS, Martin. *What is a Computation*, en *Mathematics Today*, ed. Lynn Arthur Steen. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin. 1978.
3. EVANS. Christopher. *The Making of the Micro. A History of the Computer*. Van Nostrand Reinhold Co. New York. 1981.
4. GOLDSTINE, Herman. *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press. Princeton. 1972.
5. HERMES, Hans. *Enumerability. Decidability. Computability*. Die Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen. Band 127. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, 1969.
6. NEUMANN, John von. *The Computer and the Brain*. Yale University Press 1958.
7. NEWMAN, J. R. et al. *Pensamiento y Máquinas*. Editorial Grijalbo. Barcelona. 1975.
8. RANDELL, Brian, ed. *The origins of Digital Computers. Selected Papers*. 3rd Edition, Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg, New York. 1982.
9. ULAM, Stanislaw M. *Adventures of a Mathematician*. Charles Scribner's Sons. New York. 1976.
10. ULAM, Stanislaw M. *John von Neumann 1903-1957*. Bulletin of American Mathematical Society. Vol. 64, No.3.