

Una Breve Historia de la Computación Electrónica en el Mundo

Carlos A. Coello Coello

CINVESTAV-IPN
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Sección de Computación
Av. IPN No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco
México, D.F. 07360, MEXICO
ccoello@cs.cinvestav.mx

Resumen

Se resume el estilo a seguir en los artículos publicados en la revista. Es importante respetar al máximo el estilo indicado, a fin de permitir una apariencia uniforme de la publicación, y a que no se efectúa ningún proceso de formateado en la edición. Además de las normas de estilo, se incluyen diversas indicaciones sobre la redacción de artículos y normas para la remisión de los mismos a la revista.

En este artículo se proporciona un vistazo rápido al desarrollo de la computación en los últimos 50 años. Para ello, se habla de algunas de las máquinas y de los pioneros más significativos de este periodo histórico. El recuento, inevitablemente incompleto, intenta proporcionar, sin embargo, una perspectiva breve de los vertiginosos cambios tecnológicos que se han experimentado en el mundo en un periodo que, en términos históricos, es increíblemente corto. Apreciarlos nos hará valorar más los enormes avances tecnológicos de los que hoy disponemos.

Palabras clave: historia de la computación, pioneros de la computación.

1. Introducción

Los números no han sido parte de nuestra cultura durante toda nuestra historia, y aunque su origen se ha perdido en la vorágine del tiempo, sabemos que desde su invención el hombre ha buscado desarrollar formas para ayudarse a contar. Un hueso encontrado a orillas del Lago Eduardo en Zaire, Africa¹, cuyos orígenes se ubican alrededor del año 6000 antes de Cristo, contiene tres columnas de marcas que fueron hechas con 39 herramientas diferentes, lo que ha hecho pensar a los arqueólogos que se usó para llevar el registro de alguna actividad [18]. Si esta hipótesis es cierta, entonces parecería

ser que este tipo de sistema de registro de eventos se originó desde el Paleolítico Superior, unos 30000 años antes de Cristo. Una tableta de arcilla proveniente de Senkereh, en Babilonia, que data de alrededor del año 2000 antes de Cristo, contiene los cuadrados de los enteros del 1 al 24, y al parecer se usaba como una especie de tabla para multiplicar. Se cree que quien elaboró esta tabla pudo haber usado la primera computadora digital de la historia: el ábaco, que al parecer fue inventado en Babilonia unos 3000 años antes de Cristo [15], aunque su uso más antiguo claramente documentado fue en China unos 500 años antes de Cristo. Pero el hombre no ha necesitado sólo instrumentos para ayudarse a contar, sino también formas de registrar información (el segundo propósito primordial de las computadoras modernas).

¹ Este artefacto es comúnmente denominado "hueso Ishango".

Mientras que en Egipto se usaron papiros desde el año 600 antes de Cristo [18], otras culturas no tenían a su alcance materiales adecuados para escribir, y tuvieron que inventar ingeniosas formas de registrar eventos. Tal vez la técnica más popular haya sido la de los nudos, cuyo origen parece ubicarse en China hace unos 5000 años, y los cuales fueron también muy populares en lugares tan diversos como la India, Alemania y Canadá, aunque a diferencia del ábaco, han caído en desuso en la actualidad, excepto por algunas aplicaciones muy específicas ligadas sobre todo con asuntos religiosos² [18]. Claro que indudablemente el sistema de nudos más complejo y famoso de la historia fue el de los “quipus” usado por los Incas en los siglos XV y XVI [7].

Hacia el año 1614, el matemático escocés John Napier inventó un dispositivo llamado *Rabdologia*³ para auxiliarse en sus multiplicaciones, e indudablemente lo usó para calcular la primera tabla de logaritmos que él mismo inventara. Inspirado por el trabajo de Napier, el matemático inglés William Oughtred inventó la primera regla de cálculo en 1622, la cual luego de múltiples mejoras se mantuvo en uso hasta hace unos cuantos años en prácticamente todo el mundo. Después vinieron los dispositivos mecánicos de cálculo, entre los que destacan los de Wilhelm Schickard (1624), Blaise Pascal (1642), Gottfried Wilhelm Leibnitz (1673), Samuel Morland (1652) y René Grillet (1675). Todas estas máquinas se concentraban en las operaciones aritméticas básicas, y aunque un tanto rudimentarias, fueron la base para inventar dispositivos más complejos, sobre todo tras el descubrimiento de la electricidad.

A pesar de que los siglos XVII y XVIII fueron muy ricos en cuanto a variedad de dispositivos se refiere, además de haberse presentado una fascinación desmedida por los mecanismos sincronizados (particularmente los relojes y los autómatas), en este artículo nos concentraremos únicamente en el período posterior al mecánico, empezando con las máquinas para contar y las de cálculo electromecánicas. Posteriormente se describirán algunos de los avances más significativos que condujeron hacia la computación electrónica, así como algunas de las computadoras más importantes (en términos históricos) que se construyeron en Estados Unidos y Europa. Finalmente, hablaremos muy brevemente de los avances tecnológicos producidos a partir de la invención del transistor en 1947, que han hecho posible la computación

² Por ejemplo, los judíos ortodoxos se atan nudos a diferentes distancias para recordar los mandamientos de Dios, en una tradición que data de los orígenes del pueblo hebreo, y que está documentada en el Deuteronomio.

³ Este aparato se denomina comúnmente los “huesos de Napier”, haciendo alusión al hecho de que para obtener un dispositivo de mejor calidad, los materiales idóneos eran los cuernos, los huesos y el marfil.

personal. Para mayores detalles (omitidos en aras de la brevedad) de lo aquí descrito, ver [3].

2. Dispositivos Electromecánicos

El español Leonardo Torres y Quevedo parece haber sido el primero en sugerir el uso de técnicas electromecánicas para construir una máquina de cálculo en 1914. En su artículo “*Essais sur l'Automatique*” [21], propuso la construcción de un autómata universal inspirado en la Máquina Analítica de Babbage [11], pero usando las técnicas electromecánicas en las que este científico español era tan experimentado. En dicho artículo se proporcionan los esquemas de una máquina de cálculo digital, la cual, a pesar de ser de propósito específico, puede considerarse como un dispositivo controlado mediante programa. Aunque Torres y Quevedo nunca se interesó en construir esta máquina, en 1920 exhibió en Francia un pequeño dispositivo de cálculo, similar al Aritmómetro de Thomas de Colmar [7], cuyo propósito era demostrar la factibilidad de las técnicas electromecánicas para el diseño de este tipo de máquinas. Veamos ahora las computadoras electromecánicas más significativas de la historia.

2.1. Equipo de Conteo

Herman Hollerith fue el iniciador de la época dorada de las máquinas electromecánicas para contar cuya motivación inicial fue el permitir realizar un censo confiable en una cantidad de tiempo razonable. El sistema de Hollerith, demostrado por primera vez en 1887, usaba una técnica de codificación de datos lógicos y numéricos mediante perforaciones en tarjetas similares a las propuestas por Joseph Marie Jacquard más de 80 años atrás para almacenar patrones de los tejidos usados por la industria textil francesa [1]. La efectividad del equipo de Hollerith hizo que éste se diseminara por diversas partes del mundo, inspirando a su vez a un gran número de inventores a hacerles mejoras.

Tras deteriorarse su relación con la Oficina Norteamericana del Censo (su cliente principal), Hollerith enfrentó por primera vez una feroz competencia de un ingeniero de origen ruso llamado James Powers, que durante los años siguientes pondría a la empresa de Hollerith al borde del colapso financiero en más de una ocasión. La *Tabulating Machine Company* de Hollerith a la sazón se fusionó con otras dos empresas para dar origen a la legendaria *International Business Machines* (IBM) [12].

2.2. Las máquinas de Konrad Zuse

De entre todos los esfuerzos teutones por desarrollar una computadora, sin lugar a dudas el más destacado fue el de un joven ingeniero civil que construyó con sus propios recursos y la generosa

ayuda de sus amigos, una computadora totalmente mecánica en la sala del departamento de sus padres en Berlín. El diseño de este joven de 24 años, llamado Konrad Zuse, unificó los conceptos de cómputo más importantes que se habían desarrollado hasta ese entonces: aritmética mecánica binaria (Gottfried Wilhelm Leibnitz), control mediante programa (Charles Babbage), un formato para las instrucciones que incluyera las direcciones numéricas de almacenamiento (Percy Ludgate), y una representación binaria de los números de punto flotante (Leonardo Torres y Quevedo). Sin embargo, lo más destacado de su trabajo no fue solamente el que construyera la primera máquina funcional con todas estas características, sino que lo hizo sin saber nada sobre el trabajo de sus predecesores [14]. La serie de computadoras desarrolladas por Zuse durante la Segunda Guerra Mundial se denominaron "V" (por *Versuchsmodell*, o Modelo experimental), aunque luego se rebautizaron como la serie "Z" para evitar confusiones con los tristemente célebres proyectiles producidos por su amigo Wernher von Braun. Excepto por el prototipo incompleto de la Z4, ninguna de sus tres predecesoras logró sobrevivir los embates de la guerra, aunque las patentes de Zuse, que datan desde 1936 ofrecen testimonio de su genio. La Z1, finalizada en 1937, fue completamente mecánica, pero poseía una arquitectura que seguía los principios que después universalizara John von Neumann, pues tenía separada la memoria de la unidad aritmética y del sistema de control. Adicionalmente, manejaba dígitos binarios que representaban números de punto flotante con una mantisa y un exponente, además de utilizar una forma primitiva de "microprogramación". Hacia 1938, Zuse fue persuadido por su amigo Helmut Schreyer de que los bulbos podían utilizarse para construir una computadora más rápida que la Z1, y comenzaron a trabajar en un prototipo, pero debido nuevamente a problemas de financiamiento, Zuse se convenció de que tendría que desechar la idea de usar componentes electrónicos para su máquina, y recurrió mejor a los relevadores telefónicos. Tras experimentar durante un tiempo con un prototipo que usaba relevadores (la Z2), Zuse construyó la Z3 entre 1939 y 1941, con el patrocinio parcial del *Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt* (Instituto de Investigaciones Aeronáuticas de Alemania, o DVL por sus siglas en alemán). Es incuestionable que la Z3 fue la obra maestra de Zuse, pues con sus 2600 relevadores electromagnéticos, esta máquina podía realizar entre 3 y 4 sumas por segundo, y podía multiplicar dos números en unos 4 o 5 segundos, lo que la hacía igual de rápida que la computadora *Mark I* que Howard Aiken construiría en Harvard dos años más tarde. Además, su formato de punto flotante la hacía más flexible que el formato de punto fijo de la *Mark I*, si bien su precisión de cuatro decimales era mucho más modesta que la de 23 decimales que proporcionara la máquina de

Aiken [18]. Otra debilidad de la Z3 era su limitada memoria (64 números de 22 bits cada uno), que no la hacía muy útil para resolver los complejos sistemas de ecuaciones lineales que le interesaban a la DVL, pero su diseño fue una verdadera proeza considerando los limitados recursos con los que contó su inventor. Además, la Z3 introdujo el concepto de "normalización" de los números de punto flotante, que permitía ahorrar un bit en la representación, y que todavía se utiliza hoy en día en todo el mundo [8].

2.3. Las Máquinas de Howard Aiken

Un instructor del Departamento de Física de Harvard llamado Howard Hathaway Aiken concibió la posibilidad de construir una máquina que le ayudara a efectuar los tediosos cálculos que requería para su tesis doctoral. De tal forma, decidió escribir en 1937 un memo titulado "*Proposed Automatic Calculating Machina*", en el cual describía sus ideas al respecto. La idea fundamental de Aiken era adaptar el equipo de conteo de la época de tal manera que pudiera manejar la mayoría de las funciones matemáticas de uso común (senos, cosenos, logaritmos, etc.), que procesara números positivos y negativos, y que trabajara de forma totalmente automática [16]. A través de dos profesores de Harvard, Aiken logró contactar a Wallace J. Eckert (de la Universidad de Columbia), y a través de él pudo llegar hasta Thomas J. Watson (el presidente de IBM), a quien le planteó su proyecto. Aunque Watson no creía que una máquina como la de Aiken pudiera explotarse comercialmente, le atrajo la idea de la publicidad que podría obtener a través de ella y decidió apoyar el proyecto, el cual inició en 1939. La máquina se terminó en enero de 1943, y se le trasladó posteriormente a Harvard, donde se demostró públicamente por primera vez en mayo de 1944. El 7 de agosto de ese mismo año, Thomas J. Watson obsequió la máquina a Harvard como un gesto de buena voluntad de IBM. Oficialmente, se le bautizó como *Harvard-IBM Automatic Sequence Controlled Calculator*⁴ (ASCC), pero se le conoció después como la *Harvard Mark I*, debido a la serie de máquinas con ese nombre que Aiken construyera después. La *Mark I* era una máquina impresionante, pues medía unos 15.5 metros de largo, unos 2.40 metros de alto y unos 60 centímetros de ancho [16,18], y pesaba unas cinco toneladas. Además de sus gigantescas dimensiones, la máquina llamaba la atención porque IBM la construyó con gabinetes elegantes que tenían, en su mayoría, costosas cubiertas de cristal muy llamativas. Su funcionamiento era electromecánico, y su interior estaba compuesto de unas 750,000 piezas diferentes, entre relevadores, interruptores binarios, ruedas

⁴ Aiken nunca usó la palabra "computadora" para referirse a esta máquina.

rotatorias para los registros, interruptores de diez posiciones (para los dígitos), etc. [18]. La *Mark I* recibía sus secuencias de instrucciones (programas) y sus datos a través de lectoras de cinta de papel perforada, y los números se transferían de un registro por medio de señales eléctricas. Los resultados que producía se imprimían usando máquinas de escribir eléctricas o perforadoras de tarjetas. Desde su puesta en operación en Harvard, en 1944, la *Mark I* se usó para cálculos de balística y de diseño naval, y después de la guerra su uso primordial fue elaborar tablas de las funciones de Bessel (necesarias para resolver un cierto tipo de ecuación diferencial) [16,18]. Aunque se considera que esta máquina se volvió obsoleta casi instantáneamente, por el advenimiento de las computadoras electrónicas como la ENIAC, su papel histórico es de gran valía, y se considera que influyó de una u otra manera a la mayor parte de los esfuerzos posteriores por producir computadoras en los Estados Unidos.

3. Las Computadoras Electrónicas

El circuito electrónico más antiguo que se conoce es un “relevador de gatillo”, que consistía de un par de válvulas en un circuito con dos estados estables, y que puede considerarse una forma primitiva de *flip-flop*. Este circuito fue descrito por W. H. Eccles y F. W. Jordan en 1919 [5]. Posteriormente vino el uso de tiratrones (o bulbos) en el diseño de circuitos de conteo por parte de Wynn-Williams, en el Laboratorio de Cavendish, en Cambridge, Inglaterra. Uno de estos circuitos fue un contador binario, que se desarrolló en 1932 [20]. Hacia fines de la década de los 30s ya se habían publicado varios artículos más sobre circuitos de conteo similares al de Wynn Williams, los cuales se ocupaban principalmente para contar los impulsos de los tubos de Geiger-Müller, usados en experimentos de física nuclear [14]. Veamos ahora las computadoras electrónicas más importantes de la historia.

3.1. La máquina de Atanasoff

Aunque en alguna época fue tema de grandes controversias, e incluso de un famoso juicio [10], hoy se suele afirmar en los libros de historia de la computación que el primero en intentar construir una máquina de cálculo digital electrónica fue John Vincent Atanasoff, a mediados de los 1930s en *Iowa State College* (hoy *Iowa State University*). Atanasoff estaba frustrado de que sus estudiantes de matemáticas tuvieran que pasarse semanas enteras resolviendo algunos de los sistemas de ecuaciones simultáneas que se planteaban en base a algún problema de interés en la elaboración de sus tesis de maestría y doctorado. Viendo que el uso de las calculadoras mecánicas *Monroe* era insuficiente para sus necesidades, Atanasoff motivó a sus

estudiantes a aportar ideas, mientras él mismo investigaba el equipo de cálculo existente [16]. Fue en un viaje inesperado en una fría noche de invierno en 1937, que Atanasoff tuvo la idea de construir una máquina de cálculo digital electrónica usando como base el sistema binario [10]. Aunque había leído sobre el trabajo de Eccles y Jordan, optó por usar condensadores⁵ en vez de bulbos para la memoria de su máquina. Esta decisión, al parecer fue inspirada más por razones financieras que por falta de confianza en la estabilidad de los bulbos [16]. Atanasoff elaboró una propuesta para la construcción de esta máquina, y tras recibir apoyo financiero de su universidad, procedió a construirla en 1939 con la ayuda de un estudiante suyo llamado Clifford E. Berry [14,10]. El prototipo de la máquina, que después se conocería como la ABC (*Atanasoff-Berry Computer*) se terminó en noviembre de 1939, y su exitosa demostración motivó a la *Iowa State College Research Corporation* a otorgarle \$5,350 dólares para la construcción de una computadora de mayores dimensiones, la cual sería capaz de resolver sistemas de 30 ecuaciones lineales simultáneas [16]. El advenimiento de la Segunda Guerra Mundial hizo, sin embargo, que Atanasoff tuviera que abandonar la Universidad de Iowa, y dado que Berry se fue a trabajar a California, los esfuerzos por completar la ABC nunca fructificaron, y la máquina fue después desensamblada accidentalmente [10]. En la forma en que se dejó la ABC en 1942, ésta contaba con una unidad aritmética formada por unos 300 bulbos, la cual sólo podía sumar y restar. Otros 300 bulbos se usaron para los circuitos de control y de regeneración de memoria, la cual consistía de un gran número de capacitores montados sobre dos tambores rotatorios. Esta memoria podía almacenar hasta 30 números de 50 bits en cada tambor [18]. Su velocidad era de 60 Hertz, requiriendo un segundo para efectuar una suma.

3.2. Colossus

Durante la Segunda Guerra Mundial el gobierno británico desarrolló la que parece ser una de las primeras computadoras electrónicas del mundo: la *Colossus*. Sin embargo, dado el enorme secreto que la ha rodeado aún muchos años después de la guerra, ha sido sólo en base a muchas presiones de la opinión pública que se ha ido sabiendo más sobre los detalles de funcionamiento de la máquina. La *Colossus* fue diseñada y construida en 1943 en la *Post Office Research Station* (PORS) en Dollis Hill, Londres, por Thomas H. Flowers, S. W. Broadbent y W. Chandler de forma ultra-secreta. Ni siquiera ellos mismos pudieron ver nunca todas las partes de

⁵ Estos condensadores regeneraban su propio estado positivo o negativo de forma que éste no cambiara a través del tiempo. Esta técnica que Atanasoff llamó “trotar” (*jogging*), hoy se denomina “memoria regenerativa”, y se usa ampliamente en las computadoras modernas.

la máquina, y nunca se hicieron reproducciones de los diseños originales, los cuales se tomaron directamente de las notas elaboradas por sus creadores. Nunca hubieron manuales, ni registros o preguntas sobre sus piezas o la cantidad de labor consumida. Su ensamblaje y el montaje de sus conexiones internas se efectuó por etapas, usando personal distinto, para que nadie supiera los detalles de toda la máquina. Algunas de las características más importantes de *Colossus* eran las siguientes [9]: Usaba bulbos a gran escala y empleaba el sistema binario, tenía una memoria de cinco caracteres de cinco bits cada uno y contaba con una velocidad de operación de 5,000 Hertz (ciclos por segundo). Sus datos de entrada los leía de una cinta de papel perforada usando una lectora foto-eléctrica que procesaba 5,000 caracteres por segundo. Medía 2.25 metros de alto, 3 metros de largo y 1.20 metros de ancho. Sus resultados se almacenaban temporalmente en relevadores para luego darles salida a través de una máquina de escribir eléctrica que funcionaba a una velocidad de 15 caracteres por segundo. No contaba con programas almacenados internamente, y era obviamente una máquina diseñada explícitamente para tareas criptográficas. La primera *Colossus* se puso en funcionamiento en diciembre de 1943, y su objetivo era ayudar a los criptógrafos de *Bletchley Park* a descifrar el código del acoplamiento SZ42 de *Lorenz* usada por los alemanes para codificar sus mensajes secretos enviados al alto mando⁶. La última *Colossus* fue desmantelada en 1960 cuando todos los diagramas de sus circuitos y sus planos fueron quemados. Adicionalmente, el gobierno británico vetó toda la información sobre esta máquina durante 30 años.

3.3. ENIAC

Hacia 1940, dos personajes de gran importancia para la historia de la computación coincidieron en la Escuela Moore de la Universidad de Pensilvania: John Presper Eckert y John William Mauchly. El primero era un brillante estudiante de maestría en la Escuela Moore, con un profundo conocimiento de electrónica y con una patente en su haber⁷ a pesar de estar todavía en sus 20s. El segundo era un profesor de física de *Ursinus College* interesado en construir dispositivos para calcular⁸ que le permitieran

⁶ Algunas fuentes afirman que *Colossus* se utilizó para descifrar el código de la *Enigma*, pero recientemente se ha corroborado que no es cierto [4]. Aunque la *Enigma* podía generar \$1,305,093,289,500\$ combinaciones distintas, su complejidad resultaba opacada por la del SZ42 de *Lorenz*, que permitía generar \$16,033,955,073,056,318,658\$ combinaciones distintas [4].

⁷ Eckert patentó un sistema para grabar sonido en las películas usando ondas de difracción ultrasónicas [19].

⁸ Antes de llegar a la Universidad de Pensilvania, Mauchly ya había construido un dispositivo analógico denominado "analizador armónico", y había explorado el uso de tubos de rayos catódicos fríos para construir máquinas de cálculo [19].

auxiliarse en su investigación en meteorología, y que llegó originalmente a la Universidad de Pensilvania a impartir un curso de electrónica patrocinado por el gobierno, aunque acabó obteniendo una plaza permanente. De las interminables pláticas entre Eckert y Mauchly se originó un memorándum de 5 páginas titulado "El Uso de Dispositivos de Tubos de Vacío para Calcular", que Mauchly circuló en la Escuela Moore en agosto de 1942 [14]. Aunque el reporte de Mauchly fue ignorado dentro y fuera de la Universidad de Pensilvania durante algún tiempo, el ingreso de un joven matemático llamado Herman Heine Goldstine al Laboratorio de Investigación en Balística vino a cambiar inesperadamente las cosas [6,15]. Aunque Goldstine encontró un tanto desorganizados los esfuerzos de la Escuela Moore, inmediatamente se sintió atraído por la idea de Mauchly, y pensó que una máquina electrónica podía ser la solución que necesitaban para acelerar los cálculos de balística que tanto le agobiaban. Después de obtener la autorización debida de John Grist Brainerd (director de investigación de la Escuela Moore), y tras re-escribir el reporte original de Mauchly que estuvo perdido durante un tiempo [14], se programó una presentación en Maryland en la que convencieron al Laboratorio de Balística de la valía de esta idea. La reunión se efectuó el 2 de abril de 1943, y el dispositivo que se propusieron construir fue denominado "Electronic Numerical Integrator", para hacerlo más fácil de asimilar por la gente que estaba acostumbrada a utilizar el analizador diferencial de Bush [18]. Sin embargo, la máquina propuesta en este caso era electrónica, y debido a su generalidad, el Coronel Leslie Earl Simon sugirió que se agregara a su nombre las palabras "and Computer". Así nacieron las famosas siglas

ENIAC [18].

Los fondos para la ENIAC provinieron de la Universidad de Pensilvania y del ejército norteamericano, y se aprobaron \$61,700 dólares para los primeros seis meses del proyecto [19], ante la ira de otras agencias gubernamentales que no podían entender por qué se gastaría tanto dinero en construir una máquina que pensaban que nunca funcionaría adecuadamente debido a la mala reputación (en términos de estabilidad) de los tubos de vacío. Eckert optó por un diseño que compensara la inestabilidad de los bulbos, lo que dio pie a una máquina mucho más grande y costosa de lo proyectado. La versión terminada de la ENIAC tenía 18000 bulbos de 16 tipos diferentes, 1500 relevadores, 70000 resistencias y 10000 capacitores; medía 2.4 metros de altura, 90 centímetros de ancho y casi 30 metros de largo; pesaba 30 toneladas y requería un consumo de energía eléctrica de 140 kilowatts [6,18]. En vez de los \$150,000 dólares que se estimó que costaría, su precio se elevó hasta \$486,804.22 dólares [18]. La ENIAC se comenzó oficialmente el 31 de mayo de 1943, y se terminó en el otoño de 1945, aunque la ceremonia formal donde

se le presentó tuvo lugar hasta el 15 de febrero de 1946 [14,18]. Se le usó durante 1946 para resolver problemas de balística, física atómica y hasta de teoría de números [14,18]. En 1947 se le desmanteló para llevarla al Laboratorio de Investigación en Balística, en Maryland, donde continuó en uso hasta el 2 de octubre de 1955.

4. Computadoras con Programa Almacenado

Sin lugar a dudas, una de las características más importantes de las computadoras modernas es su capacidad de retener internamente la secuencia de instrucciones que se les proporciona, ya que eso originó el desarrollo de intérpretes, compiladores y demás herramientas modernas para escribir programas, impulsando de manera significativa la revolución tecnológica propiciada por la computadora. Algunos autores dicen que Babbage fue el que concibió originalmente la idea de almacenar internamente el programa de una computadora, pero el sustento de este argumento es un oscuro pasaje de la Nota A de Ada Lovelace [11], en la que se hace alusión al uso de números para representar operaciones en vez de meras cantidades, y se ha argumentado [14] que esta hipótesis no es válida si se considera el contexto histórico en que ocurrieron los hechos, sobre todo considerando que Babbage no parecía saber del concepto de programa que se usa en la actualidad [17]. Aunque Zuse ya había concebido este concepto en 1936 [14], y es factible considerar que el modelo matemático propuesto por Turing [13] (la denominada “máquina de Turing”) sugiere la noción de programa almacenado, en ninguno de los dos casos se habló directamente de este concepto, ni se diseñó ninguna máquina que lo incorporara antes de que lo hiciera la gente de la Escuela Moore, en la Universidad de Pensilvania. Si bien resulta claro dónde se originó este importante concepto, curiosamente su autoría ha sido el centro de uno de los debates más crudos y complejos en la historia de la computación.

Todo parece indicar que la idea de contar con un computadora con programa almacenado se originó como parte de las propuestas para expandir las capacidades de la ENIAC a principios de los 1940s. John Presper Eckert comenzó a explorar la posibilidad de usar los discos magnéticos cíclicos propuestos por Perry Crawford⁹, para desarrollar una memoria interna más grande para la ENIAC [2]. En un memorándum que data del 29 de enero de 1944, Eckert propuso el diseño de una máquina mejorada con esta nueva tecnología [14,15]. Más tarde, Mauchly y Eckert advirtieron que las líneas de retardo supersónicas (de mercurio) que se

utilizaban para cuantificar el tiempo que le toma a una señal de radar llegar de la antena que la transmite a un avión podían servir para diseñar una memoria cíclica [2]. Goldstine le sugirió al Coronel Simon en julio de 1944 que era necesario que se le diera un nuevo contrato a la Escuela Moore para desarrollar una ENIAC mejorada. En octubre de ese año se firmó un contrato por \$105,600 dólares, para empezar a estudiar las ideas que conducirían a la construcción de la *Electronic Discrete Variable Automatic Computer* (EDVAC) [6]. Eckert y Kite Sharpless realizaron un diseño preliminar para determinar la factibilidad del uso de las líneas de retardo como memoria, y se concluyó rápidamente que la nueva tecnología era mejor por un factor de 100 a 1, lo que significaba que la EDVAC no sólo sería más rápida y flexible que la ENIAC, sino también mucho más pequeña [2]. Hacia finales del verano de 1944, John von Neumann concibió el uso de tubos iconoscópicos para almacenar datos, y aunque en la práctica el concepto presentó varias dificultades, fue posible usarlo algunos años más tarde, y de hecho impulsó (de forma un tanto inesperada) la computación electrónica en Inglaterra.

A raíz de un encuentro fortuito con Goldstine en el verano de 1944, von Neumann comenzó a frecuentar la Escuela Moore, y durante 1945 participó activamente en una serie de reuniones en las que se planeó el diseño de la EDVAC [6]. El 30 de junio de 1945, von Neumann concluyó un documento de 101 páginas titulado “*First Draft of a Report on the EDVAC*” (Primer Borrador de un Reporte sobre la EDVAC). Este documento resumía de manera magistral las discusiones sostenidas en la Escuela Moore, además de darle un tratamiento formal al funcionamiento de la nueva máquina, incluyendo descripciones detalladas de sus componentes y del por qué de las decisiones de diseño adoptadas [6]. El reporte fue considerado tan valioso que no sólo se distribuyó en la Escuela Moore y con aquellos ligados directamente al proyecto, sino que se circularon copias en varias partes de Estados Unidos e incluso en Inglaterra [6], sin que von Neumann lo supiera. Esto último causó malestar en Eckert y Mauchly no sólo porque el proyecto era un secreto militar, sino también porque el borrador contenía en el título sólo el nombre de von Neumann. El asunto creó una controversia tal que la relación entre von Neumann y el dúo de la Escuela Moore acabó por deteriorarse completamente, sobre todo porque al parecer a von Neumann no le agradó nunca el hecho de que Eckert y Mauchly quisieran lucrar con un proyecto patrocinado originalmente por el gobierno, y construido en una universidad [15]. La situación empeoró en 1946 cuando von Neumann intentó patentar la EDVAC remitiendo como evidencia su (ya famoso) reporte [15]. Eckert y Mauchly explotaron, pues ellos consideraban ser los inventores de la EDVAC. El pleito culminó en una

⁹ Crawford propuso esta idea en su tesis de maestría en MIT en un proyecto relacionado con el control automático de armas de fuego, aunque el dispositivo nunca se construyó.

reunión convocada por el ejército y celebrada el 3 de abril de 1947 en Filadelfia. En ella se determinó que el reporte de von Neumann había puesto las ideas de la EDVAC en el dominio público desde hacía dos años, y que el reglamento del ejército estipulaba que por tanto nadie podía patentar la idea de la máquina. En pocas palabras, nadie ganó, aunque la difusión del reporte de von Neumann le garantizó al menos un lugar de honor en la historia de la computación, y fue debido a esa omisión (tal vez realmente incidental) de los nombres de sus co-autores que hoy la arquitectura de computadoras más popular en el mundo se conoce como de "von Neumann".

Resulta irónico advertir que a pesar de la gran influencia que la Escuela Moore¹⁰ tuvo en el desarrollo de la computación electrónica en el mundo, fueron los ingleses y no los norteamericanos los que lograron construir la primera computadora electrónica con programa almacenado en el mundo [3].

5. Comienza la miniaturización

Para concluir este artículo, es importante hablar brevemente de tres eventos de vital importancia que han permitido que computadoras miles de veces más poderosas que la gigantesca ENIAC puedan colocarse ahora encima de un escritorio y funcionar con corriente casera. El primero de ellos ocurrió en 1947 en Laboratorios Bell, cuando los físicos William Shockley, Walter Brattain y John Bardeen inventaron el transistor: un pequeño dispositivo construido con un cristal de germanio que era capaz de amplificar una señal eléctrica. Aunque se requirieron todavía 10 años más de investigación para poder usar el transistor de manera confiable, su invención produjo tal vez el cambio tecnológico más importante de este siglo, al permitir la miniaturización de los dispositivos electrónicos de entre los que destaca, por supuesto, la computadora. El segundo evento importante fue la sustitución masiva de los bulbos por los transistores. Jack Kilby, de *Texas Instruments* inventó en 1958 un sistema que permitía colocar varios dispositivos en una sola placa de silicio. *Texas Instruments* llamó al invento "circuito integrado". Aunque el circuito integrado redujo el transistor al tamaño de la cabeza de un cerillo, existía otro problema: los transistores todavía tenían que conectarse entre sí en el modelo de Kilby (llamado después "monolítico"). Robert Noyce inventó de manera independiente (y simultánea) el circuito integrado, pero a diferencia de Kilby, logró resolver el problema de las

interconexiones usando una técnica de fabricación plana similar a la usada en los procesos fotolitográficos. Con este sistema, las interconexiones se podían imprimir en una pastilla de silicio junto con los transistores, permitiendo una fabricación relativamente simple que facilitaría su producción en masa. Aunque Kilby solicitó una patente del circuito integrado cinco meses antes que Noyce, fue al segundo al que se le otorgó debido a que su aplicación describía más detalladamente la forma de realizar las interconexiones. Tras una larga pelea legal de 10 años, Noyce resultó triunfador, aunque desde mucho antes la *Texas Instruments* y la *Fairchild Semiconductor* (la empresa que empleaba a Noyce en aquel entonces) llegaron a un acuerdo para dividirse el mercado, y a ambos científicos se les reconoció como co-inventores del circuito integrado [16]. Noyce acabó por salirse de *Fairchild Semiconductor* junto con Charles Moore y Andrew Grove, para fundar su propia empresa: *Intel*. A fines de los 1960s, *Intel* escenificaría el tercer evento crucial de la miniaturización de la computadora.

Marcian E. Hoff fue puesto a cargo del diseño de una serie de componentes electrónicos en miniatura para las calculadoras programables de una empresa en japonesa llamada ETI. Al ver lo complejo del diseño, Hoff tuvo la idea de colocar toda la unidad central de procesamiento de una computadora en un solo chip. Fue el nacimiento del microprocesador, una pequeña pastilla de silicio de sólo 0.32 x 0.42 centímetros de superficie que contenía 3,000 transistores. Si ahora era posible poner todo el poder de cómputo de la ENIAC en 0.13 cm², todo lo que había que hacer era esperar a que alguien explotara la nueva tecnología para desarrollar computadoras más pequeñas y rápidas que nunca. El primer paso importante a este respecto lo dio la *Digital Equipment Corporation* (DEC) en 1965, al comercializar la PDP-8 (PDP significa *Programmed Data Processor*), que fue la primera computadora en usar circuitos integrados. Su primer modelo se vendió en \$18,000 dólares. Midiendo sólo 52.1 x 52.1 x 82.5 centímetros, la PDP-8 fue denominada la primera "minicomputadora" de la historia [7]. Este término suele atribuírsele a John Leng, que era el director de operaciones de DEC en el Reino Unido en esa época. Al parecer, Leng se inspiró en la entonces popular "minifalda" y en el *Morris Mini-Minor*, un automóvil que se introdujo en Europa en 1959 y que tuvo un gran éxito comercial. Aunque la minicomputadora permitió el mayor acceso a las universidades y negocios medianos a la nueva tecnología, su precio era todavía prohibitivo para los usuarios particulares. Era necesario que alguien diseñara una computadora con un precio accesible para usuarios personales. Las grandes empresas como IBM y *Hewlett-Packard* no mostraron interés en este mercado en un principio, pues se creía que sólo los grandes aficionados a la electrónica querrían adquirir una computadora. Estaban equivocados. Los tempestuosos 1970s, con

¹⁰ Además del reporte de la EDVAC, la Escuela Moore efectuó del 8 de julio al 31 de agosto de 1946 una serie de pláticas tituladas "*Theory and Techniques for Design of Electronic Digital Computers*" que fueron tremendamente importantes para el desarrollo de computadoras electrónicas en Estados Unidos y Europa.

sus movimientos de protesta y su abuso de drogas fueron (inesperadamente) el marco histórico idóneo para impulsar la computación personal en los Estados Unidos. ¿Por qué depender de las grandes empresas para poder acceder un **mainframe**¹¹ cuando los microprocesadores inventados por Hoff podían usarse para desarrollar una computadora que todo mundo podría tener en su hogar? Así se originó la última gran revolución tecnológica del siglo XX: el advenimiento de la computadora personal. Pero esa, es otra historia.

6. Conclusiones

Pues así concluye este recorrido histórico de la computadora que nos ha llevado de los primitivos monstruos electromecánicos de principios del siglo XX al inicio de la computación personal en los 1970s. Es importante aclarar que este documento no pretende ser exhaustivo, e ineludiblemente habrá quien lamente que su computadora o pionero favorito no haya sido incluido en estas páginas. Sin embargo, ese sacrificio es obviamente necesario para poder describir cuando menos de forma somera algunas de las computadoras más importantes de los 50 años de historia que se ha pretendido cubrir en este documento. El énfasis ha sido el describir las computadoras electromecánicas y electrónicas más importantes del período preliminar a la invención del transistor, para que así el lector más familiarizado con la tecnología de nuestros días pueda percatarse de los descomunales cambios que ha experimentado la computación electrónica digital en sólo 50 años de existencia. La valía que se dé a dichos avances es, sin embargo, tarea del lector, quien deberá juzgar cada uno de ellos en su debido (y algunas veces controversial) contexto histórico. En la medida en que el lector se sensibilice de la importancia de estos cambios, este artículo habrá cumplido su cometido.

Reconocimientos

El autor agradece el apoyo proporcionado por CONACyT a través del proyecto 42435-Y.

Referencias

- 1.F. Gareth Ashurst. *Pioneers of Computing*. Frederick Muller Limited, London, 1983.
- 2.Arthur W. Burks. From ENIAC to the Stored-Program Computer: Two Revolutions in Computers. In N. Metropolis, J. Howlett, and Gian-Carlo Rota, editors, *A History*

of Computing in the Twentieth Century. A collection of essays, pages 311--344. Academic Press, New York, 1980.

- 3.Carlos A. Coello Coello. *Breve Historia de la Computación y sus Pioneros*. Fondo de Cultura Económica, México, 2003.
- 4.Donald W. Davies. The Lorenz Cipher Machine SZ42. *Cryptologia*, XIX(1):39--61, 1995.
- 5.W. H. Eccles and F. W. Jordan. A trigger relay utilising three-electrode thermionic vacuum tubes. *The Radio Review*, pages 143--146, 1919.
- 6.Herman H. Goldstine. *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1993.
- 7.Peggy A. Kidwell and Paul E. Ceruzzi. *Landmarks in Digital Computing. A Smithsonian Pictorial History*. Smithsonian Institution Press, Washington, 1994.
- 8.Donald Knuth. *The Art of Computer Programming-Seminumerical Algorithms*, volume 2. Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1981.
- 9.J. A. N. Lee. *Computer Pioneers*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, 1995.
- 10.Clark R. Mollenhoff, editor. *Atanasoff. Forgotten Father of the Computer*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1988.
- 11.Philip Morrison & Emily Morrison, editor. *Charles Babbage and his Calculating Engines. Selected Writings by Charles Babbage and Others*. Dover Publications, New York, 1961.
- 12.Emerson W. Pugh. *Building IBM. Shaping an Industry and Its Technology*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1995.
- 13.Brian Randell. On Alan Turing and the origins of digital computers. In B. Meltzer and Donald Michie, editors, *Machine Intelligence 7*, pages 3--20. Edinburgh University Press, Edinburgh, Scotland, 1972.
- 14.Brian Randell. *The Origins of Digital Computers. Selected Papers*. Springer-Verlag, Berlin, 1973.

¹¹ Este es el nombre que se daba a las enormes computadoras que vendían empresas como IBM para realizar actividades administrativas (por ejemplo, procesamiento de nóminas) en compañías de gran tamaño.

15. Joel Shurkin. *Engines of the Mind. The Evolution of the Computer from Mainframes to Microprocessors*. W. W. Norton & Company, New York, 1996.
16. Robert Slater. *Portraits in Silicon*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.
17. Maurice V. Wilkes. Charles Babbage---The Great Uncle of Computing? *Communications of the ACM*, 35(3):15--21, March 1992.
18. Michael R. Williams. *A History of Computing Technology*. Prentice Hall, 1985.
19. Dilys Winegrad. Celebrating the Birth of Modern Computing: The Fiftieth Anniversary of a Discovery At The Moore School of Engineering of the University of Pennsylvania. *IEEE Annals of the History of Computing*, 18(1):5--9, 1996.
20. E. C. Wynn-Williams. A thyatron "Scale of Two" automatic counter. *Proceedings of the Royal Society of London, A* 136:312--324, 1932.

Leonardo Torres y Quevedo. *Essais sur l'automatique. Sa définition. étendue théorique de ses applications*. Revue de l'Académie des Sciences de Madrid, 1914.