

## Notas sobre el desarrollo histórico de los ordenadores

FRANCISCO ORTEGÓN GALLEGO

Departamento de Matemáticas, Universidad de Cádiz  
CASEM, Campus del Río San Pedro  
11510 Puerto Real, Cádiz, España  
[francisco.ortegon@uca.es](mailto:francisco.ortegon@uca.es)

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el ordenador se ha convertido en un elemento casi imprescindible de nuestras vidas. Su omnipresencia es evidente: lo vemos en el trabajo, en el hogar, en los aviones, aeropuertos, bancos, en el automóvil, etc., y pronto también en los electrodomésticos habituales (lavadora, lavaplatos, frigorífico, cocina). El desarrollo de estas máquinas, desde el más simple ábaco hasta el más sofisticado supercomputador multiprocesador actual, ha necesitado recorrer un camino nada fácil y es el resultado de la aportación de algunas de las mentes más selectas de la historia de la ciencia. Asimismo, supone un triunfo de la imaginación y el esfuerzo humanos sobre algunos retos que nos plantea la naturaleza.

Sirva estas notas para rendir homenaje a los protagonistas de esta historia, a esas mentes prodigiosas que son las responsables de que hoy dispongamos de ordenadores, también llamados computadoras o cerebros electrónicos. Es muy posible que aquí no estén todos, sobre todo los correspondientes a la historia más reciente donde gobiernos, corporaciones, empresas privadas, universidades y otros organismos son los que están directamente implicados. Para una descripción más extensa pueden consultarse [3, 5, 6, 10, 32, 36, 37, 39]. Por otro lado, las referencias [27, 28, 29] describen la historia de las calculadoras mecánicas y están profusamente ilustradas.

### 2. DEL ÁBACO AL SUPERCOMPUTADOR

#### 2.1. Ábacos y reglas de cálculo

Las primeras herramientas de calcular ya surgieron en las antiguas civilizaciones. Su aparición se debió a la necesidad de realizar un gran número de operaciones, habitualmente sumas y multiplicaciones, por ejemplo, en transacciones comerciales, en agrimensura o en la construcción. Casi todas las máquinas diseñadas para calcular tienen sus orígenes en las diversas formas que adoptó el ábaco en la antigüedad. El concepto de ábaco hay que entenderlo en su aceptación más amplia, refiriéndose por tal a cualquier artilugio, tabla, o elementos cuya finalidad es la de realizar cálculos rápidos, fundamentalmente simplificando la realización de las multiplicaciones de números grandes; algunos ábacos permitían también el cálculo rápido de las divisiones, y la extracción de raíces ([26]). La procedencia del vocablo ábaco no se conoce con seguridad. La versión más extendida es que proviene del fenicio *abak*, que quiere decir polvo, arena, ya que los primeros ábacos eran una tablas que se recubrían de arena en los que, a modo de pizarra, se trazaban los números y figuras con ayuda de un estilo o punzón. Así era el ábaco de las antiguas civilizaciones (fenicia, egipcia, griega y romana). Euclides y Pitágoras demostraron sus teoremas en estos ábacos, y Arquímedes murió ante uno, exigiendo al soldado romano que lo mató que se apartara, pues le estaba borrando sus figuras geométricas.

Este ábaco desapareció posteriormente siendo sustituido por las tablas de cera, el pergamino, el papel, la pizarra, etc. La pervivencia de esta herramienta a lo largo de los siglos hasta la aparición de los logaritmos y las primeras calculadoras mecánicas a mediados del siglo XVII se debe al hecho de la falta de conocimientos, en general en sectores amplios de la sociedad, en lectura, escritura y aritmética. En España hasta finales del siglo XIX y bien entrado el XX, en algunos pueblos y zonas rurales todavía podían verse algunos artilugios para el conteo. En cualquier caso, el ábaco era la única herramienta para realizar las operaciones aritméticas que disponían tanto los hombres de ciencia, fundamentalmente astrónomos, como los hombres que llevaban la contabilidad del Estado o los maestros de escuela que enseñaban la aritmética elemental.

El mecanismo de Anticitera, un ábaco astronómico del siglo I a.C. descubierto en 1901, permitía a los griegos calcular los meses lunares, entre veintinueve y treinta días terrestres, al ser ajustado a la latitud y día de la semana correctos. Este mecanismo estaba compuesto por treinta y dos ruedas dentadas, muy parecido a los relojes del siglo XVIII. Actualmente, se exhibe en el fabuloso museo Nacional de Atenas.

Los griegos y los romanos usaron dos tipos de ábacos. El primero de ellos estaba formado por unas varillas horizontales por las que pasaban unas bolitas (de madera, metal, marfil o hueso). Este ábaco se ha mantenido hasta nuestros días (lo podemos ver, por ejemplo, en salas de billar para llevar la cuenta de las carambolas). El ábaco con diez varillas horizontales y diez bolas por varilla servía para explicar la numeración decimal, los quebrados y los decimales. El segundo tipo de ábaco que usaron los romanos, procedente de la cultura griega, estaba integrado por un conjunto de piedrecitas que, dependiendo de su disposición, representaban distintos valores y con las que se podían realizar las operaciones. En latín, *calx* significa piedra; los romanos llamaban *calculus*, diminutivo de *calx*, a estas piedrecitas, y de ahí deriva el término cálculo, tanto en su acepción de conteo, como en la de piedra (por ejemplo, de riñón). También los egipcios usaron un ábaco con piedrecitas de colores. Los indios y los chinos también tenían ábacos de varillas con bolitas ensartadas o de piedrecitas. El ábaco chino de varillas, también llamado *suan-pan*, estaba más perfeccionado; las varillas solían fabricarse de bambú. El suan-pan estaba dividido en dos partes con objeto de representar por un lado unidades de diversos órdenes y por otro las partes fraccionarias.

La introducción del sistema de numeración arábigo-hindú en Europa a través de la obra *Liber abacci* de Leonardo de Pisa (1202), también conocido por Fibonacci, tuvo un enorme impacto en el desarrollo de las matemáticas, en particular, y de las ciencias, en general. A partir de entonces, se pudieron construir ábacos basados en esta numeración, lo que permitió manejar números de muchas cifras.



Ábaco neperiano. Museo Arqueológico Nacional (Madrid).

El primer ábaco numérico conocido es simplemente la tabla de multiplicar o tabla pitagórica, y constituye el fundamento de casi todos los ábacos numéricos que se diseñaron posteriormente. El museo Arqueológico Nacional (Madrid) guarda entre sus tesoros uno de estos ábacos ([26, 34]); data del siglo XVII y es una pieza única en su clase. Se trata de un estuche muy lujoso que contiene dos tipos de ábacos ideados por el matemático escocés Napier: el primero y mayor en tamaño es un prontuario, constituido por fichas, que permite realizar multiplicaciones de números grandes superponiendo adecuadamente unas tiras numéricas en sentido vertical con otras en sentido horizontal; el segundo ábaco es un ábaco rabdológico, es decir basado en las denominadas «varillas de Napier» (conocido en el mundo anglosajón como *Napier's bones*, debido al material usado habitualmente para construirlas, el marfil). La rabdología es un término que fue introducido por Napier en su obra de 1617 *Rabdologiae*, un año antes de su muerte; está formado por los términos griegos *ραβδος*, varita, varilla o barrita, y *λογος*, tratado. En *Rabdologiae*, Napier explicaba el uso de las varillas para realizar rápidamente operaciones aritméticas, incluyendo multiplicaciones, divisiones y raíces cuadradas ([40]). Curiosamente, el descubrimiento de los logaritmos y la paulatina introducción de las máquinas mecánicas de calcular condenaron al olvido la rabdología.

Los astrónomos, cosmógrafos y navegantes hicieron también uso de cierto número de instrumentos que pueden considerarse como ábacos geométricos, siendo uno de ellos el astrolabio; uno de estos dispositivos

fue el nonius, antecesor de la regla de cálculo, un aparato que permitía medir fracciones de la unidad. El nonius debe su nombre a su descubridor, **Pedro Núñez**, y de él deriva el actual calibre, también conocido por calibrador, pie de rey, nonius o vernier (esta última denominación se debe a Pierre Vernier (1584-1638) que lo perfeccionó).

Los libros de aritmética empezaron a editarse durante la edad media; estas obras explicaban cómo realizar cálculos por escrito en lugar de usar dispositivos como el ábaco. Más adelante, **Gunter** inspirado en el libro de logaritmos de Napier desarrolló la primera regla de cálculo en 1624. Otros personajes que participaron en la invención y desarrollo de la regla de cálculo fueron los ingleses William Oughtred (1574-1660) que en 1630 inventó una regla de cálculo circular, Robert Bissaker, que en 1654 ideó la primera regla de cálculo en el que la regla se colocaba entre dos partes de un bloque fijo, y Richard Delamain (1600-1644), que de manera independiente, también había inventado en 1630 una regla de cálculo de forma circular antes de que lo hiciera Oughtred, lo que generó una disputa entre los dos sobre la prioridad del invento. La versión actual de la regla de cálculo fue diseñada en 1850 por Amédée Mannheim (1831-1906), un oficial del ejército francés. La regla de cálculo todavía seguía usándose en la década de los años 1960, fundamentalmente por ingenieros, y sólo fue sustituida con la llegada de las primeras calculadoras de bolsillo.

## 2.2. Calculadoras mecánicas

**Schickard** un profesor de lenguas bíblicas, es considerado hoy día como el padre de la calculadora mecánica. Su máquina, que él bautizó como el «reloj-calculador,» era capaz de realizar sumas y restas de hasta seis cifras; si el resultado tenía más de seis cifras, un timbre avisaba de ello. Lamentablemente, un incendio destruyó su máquina. No fue hasta el siglo XX que sus apuntes serían descubiertos por el historiador Franz Hammer (1935 y 1956). En 1960, el matemático Bruno von Freytag de la universidad de Tubinga se sirvió de ellos para reconstruir el reloj-calculador de Schickard.



Wilhelm Schickard

En Inglaterra, el diplomático e inventor **Samuel Morland**, construyó tres clases distintas de máquinas de calcular: la primera, era un aparato para cálculos trigonométricos, la segunda, una versión mecanizada de las fichas de Napier, y la tercera, una calculadora mecánica para sumar. Si bien los dos últimos dispositivos fueron inventados en la década de los años 1660, no fue hasta 1673 en que Morland hizo una descripción de estos aparatos, y de su funcionamiento, en el libro *Description and Use of Two Arithmetic Instruments*. La máquina sumadora estaba adaptada al sistema en base doce, porque su finalidad era la de sumar valores que expresaban ciertas cantidades de dinero (en el sistema antiguo inglés, cuatro perras equivalían a un penique, doce peniques hacían un chelín, cinco chelines una corona, y veinte chelines una libra; este sistema perduró hasta 1971). La pega que tenía esta máquina es que no efectuaba las llevadas de forma automática; a pesar de todo, funcionaba bastante bien y por sus pequeñas dimensiones, podía ser llevada en un bolsillo. Las máquinas de calcular empezaron a ser conocidas (entre un público muy restringido) a partir del modelo que realizó **Pascal** (sin haber tenido conocimiento previo de la máquina de Schickard). Ya con veinte años, Pascal diseñó una máquina, conocida con el nombre de la *Pascalina*, de ocho cifras, capaz de sumar y restar, la cual resultó ser muy útil a su padre, que ejercía el puesto de recaudador de impuestos en Normandía. Llegó a construir hasta siete unidades de su máquina. Pascal tuvo que enfrentarse a ciertos problemas, de la misma índole que los que tuvo Morland, durante el diseño de la pascalina, debido al tipo de monedas que circulaban en su época. En efecto, una libra equivalía a veinte perras, y cada perra a doce denarios (este sistema monetario perduró hasta 1799, poco después de la revolución francesa); así que Pascal tuvo que tratar muchos más problemas por la división entre 240 que si hubiera tenido que dividir entre cien.

El siguiente paso fue dado por **Leibniz**. En 1685 Leibniz escribía el siguiente comentario:

No merece la pena que hombres valiosos pierdan horas como esclavos en la tarea de calcular, lo cual debería ser relegado a otros si las máquinas se usaran.



Gottfried W. von Leibniz

Leibniz se sentía muy molesto cada vez que, a lo largo de la resolución de un problema, le surgía la necesidad de realizar una gran cantidad de cálculos aritméticos. Eso lo llevó a interesarse por desarrollar una máquina de calcular. La inspiración le vino en París al observar un cuenta-pasos o podómetro utilizado para medir distancias. Leibniz, aunque desconocía los trabajos de Schickard, sí conoció la pascalina con todo detalle, la cual trató de mejorar para que incorporara la posibilidad de multiplicar y dividir. En 1673 diseñó una máquina que realizaba las cuatro operaciones elementales, pero no fue hasta el año 1694 en que Leibniz la construyó; un segundo modelo fue montado en 1704. Leibniz también consideró el hecho de usar el sistema binario, pero este aparato no lo llegó a construir. A diferencia de la pascalina, la máquina de Leibniz no fue comercializada.

Otras generaciones de inventores surgieron en diversos países europeos ([15]). Entre ellos podemos citar al italiano Giovanni Poleni (1709), el austriaco Antonius Braun (1727), el alemán Jacob Leupold (1727), el inglés Charles Stanhope (1753-1816), tercer conde de Stanhope, que montó dos modelos de calculadoras en el periodo 1775-1777, el alemán Johann Hellfried Müller (1782-1784), etc.

En 1770 el pastor alemán Philipp Matthäus Hahn (1739-1790) montó una calculadora analógica capaz de multiplicar. La máquina de Hahn presumía de tener una precisión de doce dígitos. Hahn, conocido por su fama de relojero, publicó en las Actas de la Academia de Erfurt diversos trabajos sobre la mejora del diseño de relojes. Hahn logró vender varias unidades de su calculadora.

En Francia, Charles Xavier Thomas (1785-1870) también conocido como Thomas de Colmar, construyó en 1820 el *Aritmómetro*, la primera máquina que resolvió el problema de las llevadas de manera automática (se fabricaron unas 1.500 unidades de su máquina entre 1823 y 1878); también fue la primera calculadora que se fabricó industrialmente. Thomas, que era director de una compañía de seguros en París, diseñó el aritmómetro de forma parecida a como lo había hecho Leibniz. La calculadora de Thomas tuvo tanto éxito en su época que muchos inventores e industriales se fijaron en él para construir sus propios modelos con ligeras modificaciones ([15]).



Philipp M. Hahn

Durante el siglo XIX, no podemos olvidar las aportaciones de Babbage ([4, 42]), que diseñó una máquina de calcular capaz de ser controlada mediante un paquete de instrucciones sucesivas. Babbage comenzó en 1833 a desarrollar su *Ingenio Analítico*, una máquina que ya integraba todos los elementos esenciales de un ordenador actual, a saber: una unidad central de memoria, una unidad aritmética, una unidad de control de tarjetas perforadas que dirigían el proceso de cálculo, y unidades de entrada y salida. Esta máquina fue concebida para llevar a cabo cualquier cálculo, por complicado que fuera; pero, debido a las limitaciones de tiempo, la máquina fue sólo parcialmente realizada.

En 1840, Babbage se desplaza a Turín para impartir un curso; una de sus alumnas fue Ada Augusta. A partir de entonces, Ada se convierte en estrecha colaboradora de Babbage ([35]). Ada está considerada como la primera programadora de la historia, ya que escribió un programa de ordenador que permitió calcular los primeros números de Bernoulli (el lenguaje de alto nivel Ada, desarrollado por el ministerio de la Defensa de los EE.UU. en 1979 es en su honor).

En 1878, Ramón Vereá, un emigrante gallego, por aquel entonces residente en Nueva York, construyó la primera máquina de calcular capaz de realizar multiplicaciones y divisiones instantáneamente, es decir, sin efectuar el cálculo por sumas sucesivas, y obteniendo un resultado de hasta quince cifras. Es digno de resaltar que Vereá no poseía formación científica, y que a lo largo de su vida ejerció las profesiones de maestro, periodista y escritor. Aunque Vereá llegó a patentar su invento, nunca tuvo interés en comercializar el producto, lo que sin duda le hubiera aportado mucho dinero ([1, 16, 19, 22, 20]).

En 1889, el francés León Bollée, usando un mecanismo parecido al desarrollado por Vereá, patentó un dispositivo que tres años más tarde le permitiría montar una máquina capaz de extraer raíces cuadradas de números de hasta dieciocho cifras en unos treinta segundos. Al igual que Vereá, Bollée no comercializó

su máquina, pues se interesó fundamentalmente en la construcción de automóviles. También en 1892, el suizo Otto Seiger (1858-1923) patentó otra máquina de multiplicar que usaba los principios de Verey y Bollée. La máquina fue bautizada como la *Millonaria*, y se vendieron del orden de 4.700 unidades.

A partir de 1892, una empresa alemana explotó y comercializó el *Aritmómetro de Odhner*, la primera máquina de calcular a manivela, patentada por el sueco **W. T. Odhner**. Fue un éxito de ventas en la época, facturando más de 200.000 unidades. Su uso se prolongó hasta la década de los años 1960. La primera calculadora Facit pertenecía al mismo tipo que las de Odhner y fue fabricada en 1918 por la firma Axel Wibell en Estocolmo. La dirección [46] contiene numerosas fotografías de los distintos modelos que diseñó Odhner, así como algunos otros que perduraron hasta finales de los años 1960 y principios de los 1970. En [45] se puede leer la siguiente declaración de Odhner:

Que sea sabido que yo, WILLGODT ODHNER, de San Petersburgo, Rusia, he inventado un nuevo y mejorado aritmómetro; y declaro que lo que sigue es una descripción completa, nítida y exacta del mismo.

Mi invento es un instrumento para ayudar a calcular, estando adaptado para sumar, restar, multiplicar y dividir números sin otra ocupación por parte del operario que la que se requiere para colocar y rotar ciertas ruedas numeradas, así como ajustar un cursor que lleva una serie de ruedas registradoras.

El aritmómetro de Odhner era muy similar a una calculadora desarrollada por el estadounidense **Frank S. Baldwin** en 1873 ([38]). Baldwin también llamó a su máquina aritmómetro, que patentó en 1874, y de la que construyó diez unidades; fue la primera máquina para sumar que se vendió en los EE.UU. Según Baldwin, su máquina llegó a Europa a las manos de Odhner hacia 1875, quien, con leves modificaciones, la patentó en los países europeos (esta parte de la historia parece ser que no ha sido del todo confirmada [17]). La mecánica de estas dos máquinas son tan parecidas que los términos calculadora del tipo de Baldwin o calculadora del tipo de Odhner se consideran actualmente equivalentes. En 1900, Baldwin patentó la *Baldwin Computing Engine*, una máquina capaz de realizar multiplicaciones y divisiones de un sólo golpe. Más tarde, en 1908, patentó el *Baldwin Recording Calculator*, una calculadora que incorporaba un teclado.

En nuestro país, **L. Torres Quevedo** diseñó una máquina de calcular que era capaz incluso de resolver ecuaciones algebraicas complejas. Torres Quevedo construyó toda una serie de calculadoras analógicas, todas ellas mecánicas. En estas máquinas existen ciertos elementos, denominados *aritmóforos*, que están constituidos por un elemento giratorio y un índice que permite leer el valor representado para cada posición del mismo. El elemento giratorio es un disco o un tambor graduado que gira en torno a su eje, siendo los movimientos angulares proporcionales a los logaritmos de las magnitudes a representar.

Basándose en esta técnica, Torres Quevedo puso a punto una máquina capaz de resolver ecuaciones algebraicas con ocho términos, obteniendo una aproximación de sus raíces, incluso las complejas, con una precisión de milésimas. Un componente de dicha máquina era el denominado *husillo sin fin*, de extrema complejidad mecánica, que permitía expresar la relación  $y = \ln(10x + 1)$ . Torres Quevedo también construyó otra calculadora para resolver una ecuación de segundo grado con coeficientes complejos, y un integrador.

En 1884, el estadounidense **Burroughs** desarrolló la primera máquina de sumar provista de teclas y que permitía imprimir resultados. Burroughs diseñó su calculadora cuando trabajaba como empleado en un banco. En 1886 fundó la empresa la *American Arithmometer Company* con el único objetivo de comercializar su calculadora, la cual, después de diversas fusiones con otras empresas, ha derivado en la actual *Unisys Corporation*.

El desarrollo de las máquinas de calcular controladas externamente se vio impulsado por la aportación de **Hollerith**, que desarrolló una técnica para almacenar la información sobre tarjetas perforadas. Las máquinas de Hollerith consistían en una perforadora pantográfica y un



*Hermann Hollerith*

mecanismo lector de fichas, que comprendía una serie de casillas que constituían una clasificadora, así como unos contadores que formaban los elementos de una tabuladora. Esta técnica fue usada para la elaboración del undécimo censo de los EE.UU. en 1890; los datos del censo fueron luego procesados en la máquina de Hollerith. El uso de este método se extendió rápidamente en el mundo industrializado.

### 2.3. Calculadoras electromecánicas

El desarrollo moderno de los ordenadores empezó en el bienio 1934-35 en Berlín, a partir de los trabajos de **K. Zuse**. Su primera computadora, la Z1, usaba el sistema binario, y las cuatro operaciones elementales eran realizadas mediante las operaciones lógicas *y*, *o* y *negación*. El control externo de la



Konrad Zuse

el ETH<sup>1</sup> de Zúrich. Durante el periodo 1951-1956 fue la única computadora en funcionamiento en toda Europa.

El concepto de «bit» para designar un dígito binario fue introducido por vez primera en 1948 por el ingeniero y matemático **Shannon**. En su tesis de maestría *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits* describe cómo puede usarse el álgebra de Boole para el análisis y la optimización de interruptores en un circuito eléctrico. Más adelante (1948) en *A Mathematical Theory of Communication* propuso un modelo original para la transmisión de la información, lo que constituyó los fundamentos para el uso del sistema binario en lugar del decimal en las máquinas de calcular electrónicas.

Aparte de los desarrollos llevados en Alemania, unos tres años después, se empieza a construir en los EE.UU. una computadora moderna. En el periodo 1937-1942 Atanasoff y Berry, de la universidad estatal de Iowa (EE.UU.), aplican los conceptos de la aritmética binaria, los circuitos lógicos y la memoria secundaria para construir la computadora Atanasoff-Berry (ABC), considerada como la primera computadora digital electrónica. Atanasoff puso al corriente de sus ideas a Mauchly, quien se serviría para diseñar el ENIAC ([21, 25]). Desgraciadamente, la ABC fue desmontada posteriormente ([41]).

En los EE.UU., el desarrollo de la tecnología, y muy particularmente la aplicada a los ordenadores, ha estado unida a la investigación financiada por su gobierno con fines militares; las líneas de investigación prioritarias eran la criptografía (en relación con la transmisión de mensajes codificados y la interceptación de mensajes cifrados para su descodificación), las armas nucleares, y otras aplicaciones militares. No es de extrañar por tanto que durante la segunda Guerra Mundial, seguido del periodo de la guerra fría, estas tecnologías experimentaran un enorme desarrollo. En 1944, **Aiken** concluye el montaje de su primer modelo, la MARK I, que se denominó entonces la ASCC (calculadora controlada por secuencia automática). Esta máquina usaba tarjetas perforadas, relés y conexiones eléctricas; constaba de 70.000 partes, incluyendo 3.000 cojinetes y ochenta kilómetros de cables; pesaba cinco toneladas, y medía unos dieciséis metros de largo por dos y medio de alto. La MARK I realizaba cálculos con una precisión de veintitrés decimales; una suma tardaba unos 0'6 segundos, mientras que una división unos doce. Era controlada por una sucesión de instrucciones grabadas en una cinta de papel perforado. Las tarjetas perforadas eran usadas para la introducción de los datos y la salida de los mismos.

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Federal de Suiza

## 2.4. Computadoras electrónicas

Los modelos siguientes que Aiken diseñó, las MARK II-IV, eran máquinas totalmente electrónicas. Estas primeras computadoras estaban caracterizadas por la incorporación de válvulas de vacío, dando lugar al periodo conocido como *primera generación* de las computadoras electrónicas (1954-1959).

La siguiente máquina completamente electrónica fue montada en 1946, en la universidad de Pensilvania, por Eckert y Mauchly y fue el Computador e Integrador Numérico Eléctrico, ENIAC ([21, 25]). Eckert era el responsable del diseño de los circuitos electrónicos. El ENIAC medía veinticuatro metros de largo por dos y medio de alto, poseía 1.500 relés y requería 150 kilowatios para funcionar. Era mil veces más rápido que sus predecesores electromecánicos, pudiendo ejecutar hasta cinco mil sumas por segundo. Uno de los problemas con los que Eckert se enfrentó fue el de resolver cómo una máquina con 18.000 válvulas podría funcionar cuando dichas válvulas no eran nada fiables. Este problema perduró hasta la aparición de los ordenadores basados en la tecnología de los transistores. En [9] se puede consultar un interesante documento con la historia del desarrollo del ENIAC. He aquí un extracto de la descripción técnica que figura en ese documento



John P. Eckert

El ENIAC estaba integrado por treinta unidades autónomas, veinte de las cuales eran acumuladores. Cada acumulador era esencialmente una calculadora de alta velocidad para sumar números de hasta diez cifras pudiendo incluso almacenar el resultado de sus cálculos. EL ENIAC era una máquina decimal, es decir cada uno de los diez dígitos de los acumuladores contaban de cero a nueve mediante una configuración particular de circuitos electrónicos. Con objeto de acelerar ciertas operaciones aritméticas, el ENIAC poseía otros dispositivos especiales para multiplicar, dividir y extraer raíces cuadradas...



John W. Mauchly

Otro país que desarrolló máquinas de calcular durante la segunda guerra mundial fue Inglaterra. Un modelo estuvo ya en uso en 1943, y fue bautizado con el nombre de COLOSSUS. Este computador poseía 1.500 válvulas, y realizaba los cálculos en base dos. El desarrollo de este modelo se basó parcialmente en las ideas del teórico de lógica matemática Turing ([8]).

Uno de los padres de los ordenadores modernos es John von Neumann ([2]). Su concepción de autómatas computacionales está considerado como el anteproyecto básico de los ordenadores modernos. La idea fundamental de su trabajo era la de un ordenador controlado internamente. El programa de control ahora permanecía almacenado en la memoria del ordenador, y estaba sujeto a ser modificado convenientemente. Este carácter flexible conduciría directamente al desarrollo de los lenguajes de alto nivel actuales. En el periodo 1936-1938, von Neumann invitó a Turing al Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, dirigiendo la defensa de su tesis doctoral. En 1946, von Neumann comenzó a trabajar en su concepto de ordenador, tarea que no culminó hasta 1951. El ordenador estaba destinado a la simulación numérica para el diseño de armas nucleares. Los primeros modelos de este ordenador se construyeron e instalaron en 1952 en Los Álamos, el MANIAC I, y un año después, en Oak Ridge (Tennessee), el ORACLE.

El primer ordenador de gran capacidad disponible para la venta al público fue el UNIVAC I (Computador Automático Universal), manufacturado en 1951 por la Remington Rand UNIVAC ([12]) y vendido a la Oficina del Censo de los EE.UU. Hasta cuarenta y seis unidades fueron vendidas posteriormente. Los responsables principales del diseño y construcción del UNIVAC I fueron Eckert y Mauchly. EL cuerpo principal del UNIVAC I medía 4'20 metros de largo, 2'40 metros de ancho y 2'55 metros de alto y estaba

constituido por la unidad de memoria y toda la circuitería de la unidad central de procesamiento. El exterior estaba formado por puertas metálicas afianzadas con bisagras que podían abrirse para acceder al interior donde se situaban los estantes con toda la circuitería. El calor producido por las 5.200 válvulas de vacío era tan intenso que hacía necesario la instalación de un sistema de aire acondicionado. El sistema en total pesaba unas trece toneladas y consumía alrededor de 125 kilovatios. El UNIVAC I estaba destinado para gestionar grandes volúmenes de datos (censo, nóminas de las empresas, etc.); desde el principio, sus creadores Eckert y Mauchly desecharon el uso de tarjetas perforadas para la transmisión de la información por su lentitud en el proceso de datos; por esa razón, la *Remington Rand* decidió montar un sistema a base de cintas magnéticas. Este sistema estaba constituido por un total de ocho unidades de cinta, denominadas UNISERVO, cada una de ellas de 1'80 metros de altura por 0'9 metros de ancho. Algunos de los UNIVAC I que se vendieron en la década de los 1950 estuvieron funcionando hasta la década de los 1970. (En [12] se puede encontrar una descripción más detallada sobre el UNIVAC I.)

Hasta 1953 no se comenzó a producir industrialmente la fabricación de ordenadores. Ese año el primer ordenador de la *Engineering Research Associates*, el ERA 1103, fue dispuesto para la investigación en criptografía; el siete de abril de ese mismo año, IBM montó la máquina IBM 701, el primer ordenador electrónico que esta firma manufacturó y comercializó disponible para la comunidad científica; después vinieron los modelos más avanzados de la misma serie: 702, 704, 705 y 709 ([43]).

En marzo de 1960 se construyó el ordenador más grande de su época, tanto en dimensiones como en prestaciones, el *Remington Rand Univac LARC*, (Livermore Advanced Research Computer), montado en el laboratorio de Radiación de la universidad de California ([7]). Una nave fue construida expresamente para alojar a este monstruo: estaba estructurado en cuatro partes, cada una de ellas de unos 6 metros de largo, 1'20 de ancho y 2'10 de alto. Además había una formación de doce tambores de cabeza flotante, cada uno de unos 1'20 metros de ancho, 0'90 de profundidad, y 1'50 de alto; el sistema iba acompañado de ocho unidades de cinta magnética, una unidad lectora de tarjetas perforadas y una impresora. Los tambores constituían la memoria secundaria con una capacidad de almacenamiento por tambor de 250.000 palabras de doce dígitos decimales. El Univac LARC funcionaba con la aritmética decimal (al igual que su predecesor el UNIVAC I) representando números enteros de hasta doce cifras. Una suma de dos números enteros se realizaba en cuatro microsegundos, mientras que para una multiplicación se invertía doce. Por otro lado, también admitía la posibilidad de trabajar en como flotante, con una representación de veintidós dígitos decimales. Desde un punto de vista histórico, el Univac LARC está considerado como el primer «supercomputador» y demostró ser de gran utilidad para la comunidad científica.

El enorme desarrollo que ha experimentado en las últimas décadas la tecnología, ha repercutido particularmente en el desarrollo de los ordenadores; en realidad, tecnología y capacidad de computación son conceptos que se alimentan uno del otro: un avance del primero viene acompañado de mejoras en las prestaciones de los modelos de ordenadores, y recíprocamente, una mejoría en las capacidades de computación repercute casi instantáneamente en el desarrollo general de la tecnología. Estos avances en la computación se han producido gracias a la introducción de nuevos materiales y nuevas técnicas en la construcción y disposición de los elementos en que se componen los ordenadores actuales. Por ejemplo, el descubrimiento del transistor en 1948 supuso un gran avance cualitativo en el diseño de los futuros ordenadores, al sustituir las válvulas de vacío por estos nuevos dispositivos, lo que permitió construir máquinas más fiables, menos voluminosas, que consumían menos energía, que desprendían menos calor, y que, en suma, eran menos susceptibles al fallo de alguno de sus componentes. Las válvulas de vacío dejaron de formar parte de los componentes de las computadoras a partir de 1959; la introducción de las máquinas totalmente transistorizadas inician el periodo de la *segunda generación* de las computadoras (1959-1964).

Pero sin duda, una de las causas de este espectacular avance se debe al desarrollo de la microelectrónica y la nanotecnología. En efecto, la posibilidad de fabricar circuitos más pequeños ha hecho posible la minituarización de muchos elementos esenciales del ordenador: tarjetas, procesadores, chips, discos duros, etc. La incorporación de los circuitos integrados en la arquitectura del ordenador marca el inicio de la *tercera generación* de las computadoras (1964-1975). Todo esto ha redundado a su vez en un aumento sustancial de las capacidades de las memorias del ordenador (principal o RAM, y secundaria, discos duros,

unidades magnetoópticas, disquetes, pastillas de memoria, etc.). Con la instalación de microprocesadores en el ordenador arrancó la *cuarta generación* de las computadoras (1975-1990). Actualmente, la *quinta generación* continúa en desarrollo. Esta etapa está caracterizada por la incorporación de técnicas de inteligencia artificial en el funcionamiento del ordenador; aquí se incluyen, entre otras, que el ordenador esté capacitado de tomar decisiones, razonar o responder al lenguaje humano. ¿Ciencia ficción? el tiempo lo dirá...

## 2.5. Los supercomputadores de Cray

La historia de la supercomputación posee un nombre propio, y es **Seymour Cray**. En 1972 Cray fundó la empresa *Cray Research* con el objetivo de diseñar y montar los ordenadores más potentes del mundo. En 1976 ya disponía del Cray-1, la primera versión de lo que sería su propia generación de superordenadores. El Cray-1 poseía unas características que lo hacían único en muchos aspectos: incorporada el primer procesador vectorial, y al mismo tiempo el procesador escalar más rápido de su época, con una capacidad de un millón de palabras de sesenta y cuatro bits y un ciclo de reloj de 12'5 nanosegundos (133 millones de operaciones en coma flotante por segundo o 133 megaflops). El primer Cray-1 fue instalado en 1976 en el laboratorio nacional de Los Álamos con un coste de casi nueve millones de dólares. La compañía llegó a montar dieciséis Cray-1.



Seymour R. Cray

Otro de los aspectos innovadores de esta maravilla era su arquitectura. Su forma exterior era la de una C (al mismo tiempo hacía honor a su nombre) lo que permitía concentrar la circuitería en un espacio reducido (ningún cable superaba los ciento veinte centímetros) implicando a su vez un aumento de la velocidad de todo el sistema. Asimismo, esta concentración de elementos electrónicos iba acompañada de un extraordinario aumento de calor, lo que exigió desarrollar un sofisticado sistema de refrigeración a base de freón líquido. En 1985, apareció el siguiente gigante de la familia, el Cray-2; con un ciclo de reloj de 4'1 nanosegundos, se mostró entre seis y doce veces más rápido que el Cray-1 (hasta 1'95 gigaflops), poseía una memoria principal de cuatro Gb, memoria secundaria de 256 Gb, y 240.000 chips. El sistema de refrigeración volvía a ser sofisticado y combinaba agua fría, freón líquido, flúor inerte y nitrógeno líquido. El coste del Cray-2 superaba los diez millones de dólares. En 1982, *Cray Research* lanzó al mercado de la supercomputación su primer modelo multiprocesador, el Cray X-MP. A partir de 1985, Seymour Cray comenzó a desarrollar el Cray-3. La característica principal del Cray-3 se encontraba en el hecho de que el procesador se construiría con chips que usan arsenuro de galio, un semiconductor más rápido que el silicio.

Los modelos Cray-1 y Cray-2 tuvieron una acogida muy favorable en el mercado, sin embargo, con el Cray-3 no fue así. Durante las pruebas realizadas con los semiconductores basados en arsenuro de galio, surgieron muchas dificultades, lo que provocó un retraso importante en la salida y en su puesta en funcionamiento. Al final, un sólo Cray-3 se montó, y se instaló el 24 de mayo de 1993 en el Centro de Cálculo Científico del NCAR (National Center for Atmospheric Research) en Boulder (Colorado, EE.UU.). En 1988, apareció el modelo multiprocesador Cray Y-MP, el primer supercomputador con una velocidad de cálculo superior a un gigaflops en la mayoría de las simulaciones. Con una arquitectura basada en varios procesadores a 333 megaflops, el Cray Y-MP llegó a alcanzar una velocidad de 2'3 gigaflops. Durante los años siguientes, la compañía fue sacando al mercado otros modelos de Cray ([49]). Por ejemplo, en 1993 apareció el Cray T3E, un modelo que incluía la técnica del procesamiento masivo en paralelo; dos años más tarde, el siguiente modelo, el Cray T3E-1200E se convirtió en el primer superordenador con una velocidad de ejecución de un teraflops (más de un billón de operaciones en coma flotante por segundo). Actualmente, se está construyendo el Cray XT3, un superordenador con una arquitectura de 1.100 procesadores en paralelo y una velocidad de cálculo entorno a los 5'9 teraflops. Se espera que este sistema esté en funcionamiento a mediados de 2005.

Desde la aparición del primer superordenador, otras grandes compañías se interesaron por desarrollar

sus propios modelos. En este sentido, es bueno recordar que en 1986 ya existían en todo el mundo alrededor de ciento treinta sistemas de este tipo, de ellos más de noventa habían salido de la factoría *Cray Research*. Para profundizar más acerca de la supercomputación, especialmente sobre Cray, pueden consultarse [11, 23, 50].

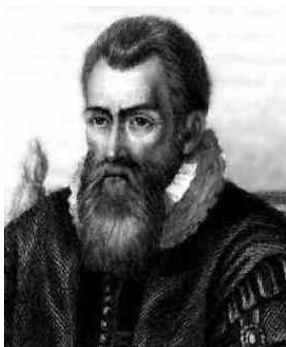
### 3. LOS PROTAGONISTAS



Pedro Núñez

**PEDRO NÚÑEZ** (1502-1578) nació en Alcácer do Sal (Portugal). Estudió en Lisboa obteniendo un grado en medicina, y luego en Salamanca. Fue profesor de matemáticas en la universidad de Coimbra. Más tarde ejercería como cosmógrafo. Núñez, que durante mucho tiempo residió en España, descubrió la curva loxodrómica al resolver el problema del rumbo fijo, es decir, manteniendo un ángulo constante con la meridiana; se creía entonces que dicha curva era necesariamente un círculo máximo, pero Núñez probó rigurosamente que dicha curva se acercaba asintóticamente en forma espiral a uno de los polos. En cosmografía resolvió el problema del crepúsculo mínimo. Su nombre latinizado ha pasado a la posteridad por el instrumento de medida que él mismo ideó: el nonius (más tarde mejorado por Vernier). En matemáticas escribió dos obras, una en latín, *De erratis Orontii Finei*, y la otra en español *Tratado de Álgebra*.

**EDMUND GUNTER** (1581-1626) nació en Hertfordshire (Inglaterra). Miembro de la Iglesia de Cristo y ordenado sacerdote anglicano en 1615. Desde 1619 ejerce también como profesor de astronomía en la universidad de Gresham (Londres), puesto que ocupa hasta su muerte. Colega y amigo de H. Briggs (1561-1631), Gunter publicó en 1620 su *Canon Triangulorum*, o *Tabla de senos y tangentes artificiales* que contiene tablas de logaritmos de senos y tangentes con siete cifras decimales. (las palabras coseno y cotangente se deben a él). Fabricó un aparato mecánico (la escala de Gunter) para multiplicar números basados en logaritmos mediante una escala simple y una pareja de divisores. Los marinos lo denominaban el *gunter*, e influyó de manera decisiva en el posterior desarrollo de la regla de cálculo. Gunter describe esta herramienta en su obra *Description and Use of the Sector, the Crosse-staffe and other Instruments*. También realizó diversas aportaciones a la navegación al publicar en 1623 *New Projection of the Sphere*, estudió la declinación magnética y fue el primero en observar la variación secular.



John Napier

**JOHN NAPIER** (1550-1617), barón de Merchiston. Napier también escrito Neper, matemático escocés y escritor teólogo que introdujo el concepto de logaritmo como herramienta matemática para calcular. Napier empezó a trabajar con logaritmos probablemente en 1594, elaborando gradualmente su sistema de cálculo donde raíces, productos y cocientes podían ser rápidamente determinados a partir de unas tablas que mostraban las potencias de un número prefijado que era usado como base. Las contribuciones de este poderoso invento matemático están contenidos en sus dos tratados *Mirifici logarithmorum canonis descriptio* (1614) y *Mirifici logarithmorum canonis constructio* publicada dos años después de su muerte.

**WILHELM SCHICKARD** (1592-1635) nació en Herrenberg (hoy en Alemania) y estudió teología y lenguas orientales en Tübingen. En 1613 es ordenado sacerdote de la iglesia luterana. A partir de 1619 es profesor de hebreo y arameo en la universidad de Tübingen. En 1631 es nombrado profesor de astronomía. Sus trabajos de investigación incluyen

temas de astronomía, matemática y topografía. Schickard inventó muchas máquinas, algunas de ellas calculaban fechas astronómicas; también diseñó métodos para construir mapas físicos que resultaron ser mucho más precisos que los que se usaban en su época. En 1623 inventó una máquina de calcular, la cual fue usada por Kepler para el cálculo de efemérides.

**SIR SAMUEL MORLAND** (1625-1695) nació en Berkshire (Inglaterra). Estudió matemáticas en la universidad de Cambridge. Actuó como diplomático en Suecia (1653) y en Italia (1654), y más tarde se dedicó a inventar máquinas mecánicas e hidráulicas. Entre sus inventos cabe destacar una calculadora para sumar dinero (en el sistema antiguo inglés), una máquina para multiplicar y dividir basada en las fichas de Napier, una máquina para cálculos trigonométricos, una especie de megáfono, bombas hidráulicas (una fue patentada en 1661), dos tipos diferentes de barómetros, etc. Morland ostentó diversos puestos oficiales, siendo uno de ellos el de Maestro de Mecánica del Rey (1681), por haber logrado extraer agua del Támesis hasta el palacio de Windsor mediante una bomba de vapor.



*Samuel Morland*



*Blaise Pascal*

**BLAISE PASCAL** (1623-1662) nació en Clermont (hoy conocida por Clermont-Ferrand, Francia). Pascal mostró desde temprana edad un gran interés por la matemáticas; sin haber recibido ninguna educación matemática, con doce años demostró por su cuenta que la suma de los ángulos de un triángulo equivale a dos rectos. A partir de ahí comienza propiamente su educación matemática. A los dieciséis años ya había demostrado varios teoremas de geometría proyectiva. En 1640 publica su *Ensayo sobre las secciones cónicas*. Es el inventor de la primera calculadora digital, que fabricó para ayudar a su padre en las tareas de recaudación de impuestos; el invento le mantuvo ocupado durante tres años entre 1642-45; este aparato, denominado la *Pascalina*, se parecía a una calculadora mecánica de los años 1940. Hacia 1646 comienza a interesarse en el estudio de la presión atmosférica, lo que le lleva en 1647 a demostrar la existencia del vacío. En 1648, Pascal observa que la presión atmosférica decrece con la altura, y dedujo que el vacío existía por encima de la atmósfera. A partir de 1653 se dedica a las matemáticas y la física, publicando su *Tratado sobre el equilibrio de los líquidos*, en el que figura la ley de presión de Pascal. Estudia también las secciones cónicas en *La generación de las secciones cónicas*. Pascal no fue el primero en estudiar del triángulo de Pascal (también conocido como triángulo de Tartaglia), no obstante, el análisis que realiza en *Tratado sobre el triángulo aritmético* fue el más importante sobre dicho tema, y junto con los trabajos de Wallis, las aportaciones de Pascal en relación con los coeficientes del binomio influyeron en el descubrimiento por Newton del teorema general del binomio válido para potencias fraccionarias o negativas. También mantuvo correspondencia con P. de Fermat lo que le llevó a establecer los fundamentos de la teoría de la probabilidad. Sus últimos trabajos tratan sobre la cicloide.

**GOTTFRIED WILHELM VON LEIBNIZ** (1646-1716), filósofo y matemático alemán. En 1661, cuando sólo contaba catorce años ingresó en la universidad de Leipzig. En 1672, se marchó a París, donde recibió clases de matemáticas y físicas del matemático holandés C. Huygens, que lo inició en las matemáticas de los pensadores modernos. En 1673 fue invitado por la *Royal Society* de Londres para mejorar su máquina calculadora. sin embargo, él se dedicó a estudiar la geometría de los infinitesimales. De vuelta a París en 1675, empezó a trabajar en los aspectos básicos del cálculo diferencial. Leibniz fue el primero en utilizar

la notación moderna del cálculo integral y diferencial; el 21 de noviembre de 1675, escribió un trabajo en el que aparecía la notación  $\int f(x) dx$  por primera vez, y daba la fórmula de la derivada del producto. En 1676 descubrió la relación  $d(x^n) = nx^{n-1}dx$  y probó que era cierta tanto para números enteros como racionales. En 1684, Leibniz publicó *Nova methodus pro maximis et minimis, itemque tantetibus, qua nec irrationales quantitates moratur* en la revista *Acta Eruditorum*; en dicho trabajo aparecen, sin demostración, las fórmulas de las derivadas de las potencias, el producto y el cociente. En 1686 publicó en la misma revista el trabajo *De geometria recondita indivisibilium atque infinitarum* sobre el cálculo integral, donde aparecía por primera vez el símbolo  $\int$  para designar la integral; en dicho trabajo muestra la relación entre la derivación y la integración en el sentido de una es la inversa de la otra. Leibniz también fue el primero en utilizar el término ‘función’.



Charles Babbage

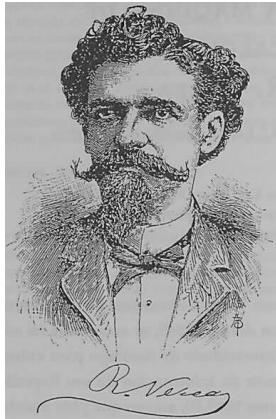
**CHARLES BABPAGE** (1791-1871) matemático y economista político inglés nacido en Teignmouth durante la revolución industrial. Babbage desempeñó una papel crucial en el desarrollo científico y técnico de su época. Profesor de matemáticas en la universidad de Cambridge, junto con otros colegas introdujo la notación de Leibniz en el cálculo, lo que produjo una enorme transformación en las matemáticas, tanto en Cambridge como en toda Gran Bretaña. Sus logros más importantes fueron sus detallados diseños de sus dos máquinas de calcular: la máquina para la realización de tablas de diferencias finitas, y su ambicioso *Ingenio Analítico*. Estas máquinas eran calculadoras flexibles y potentes, controladas por tarjetas perforadas.

**ADA AUGUSTA**, condesa de Lovelace (1815-1852), científica y matemática británica, hija del ilustre poeta lord Byron. Al poco de nacer, sus padres se separaron, quedando a la custodia de su madre, la cual no deseaba que su hija fuera poeta como su padre, sino matemática. Con treinta años, en una carta dirigida a su madre, le pregunta que si ella no le puede dar poesía, ¿podría a cambio darle ciencia poética? Cuando contaba diecisiete años, conoce a Mary Fairfax Somerville (1780-1872), una mujer extraordinaria que había traducido al inglés los trabajos de Laplace, y cuyos textos eran usados en la universidad de Cambridge. Somerville animó a Ada en sus estudios de matemáticas, pero además tratando de situar las matemáticas y la tecnología en un contexto humano apropiado. En 1834, empieza a interesarse por las ideas de Babbage y su máquina de calcular. En 1843, contrae matrimonio con el conde de Lovelace, y trabaja con unos apuntes de Babbage a los que ella añade sus propias ideas, para luego mostrárselos a él mismo. A partir de entonces, no dejan de escribirse entre ellos. Ada sugirió a Babbage la escritura de un programa para el cálculo de los números de Bernoulli (hoy día considerado como el primer programa de ordenador de la historia).



Ada Augusta

**RAMÓN SILVESTRE VERA GARCÍA** (1833-1899) nació en Curantes (Galicia). Inició sus estudios universitarios en 1847 en la facultad de Filosofía y Letras de Santiago de Compostela, que no llegó a finalizar. Posteriormente emigró a América, siendo su primer destino Cuba, donde trabajó como maestro de escuela y periodista; también escribió en esa época dos novelas *La cruz de piedra* y *Una mujer con dos maridos*. En 1865 se trasladó a Nueva York, ciudad que en esos momentos se encontraba en pleno auge y efervescencia. La visión que produce la ciudad a Ramón Verea ejercerá una influencia



Ramón Verea García

notable en él: en su opinión, España iba en la dirección equivocada, pues para desarrollarse correctamente necesitaba menos escritores, abogados y periodistas, y más ingenieros, inventores, técnicos y científicos. Algunos amigos americanos le recriminan que los españoles no son capaces de adaptarse a los nuevos tiempos que corren, al progreso. A partir de entonces, Ramón Verea decide involucrarse en la tarea de construir una máquina de calcular innovadora, capaz de realizar multiplicaciones y divisiones de forma inmediata (a diferencia de los modelos existentes en esa época, que multiplicaban por sumas reiteradas). Con su nueva calculadora, Ramón Verea quiso demostrar que «un español puede inventar igual que un americano», y sin duda que lo consiguió: en 1878 fue galardonado con la Medalla de Oro de la Exposición Mundial de Inventos de Cuba. La noticia de la máquina de calcular se publicó en diversos medios de comunicación relevantes: la revista *Scientific American* y el diario *The New York Herald* entre otros. Patentó su máquina el 10 de septiembre de 1878 (patente nº 207918), pero no mostró interés alguno en comercializarla ni en darla a conocer. En declaraciones que aparecieron en el *Herald* opinaba que

Sólo me movía el afán de contribuir con algo al avance de la ciencia y un poco de amor propio. Yo soy un periodista y no un científico y, además, lo que yo pretendía demostrar... ya está demostrado.

**WILLGODT THEOPHIL ODHNER** (1845-1905) nació en Wärmaland (Suecia). Estudió en el Instituto Tecnológico de Estocolmo graduándose en ingeniería. En 1869 emigró a Rusia donde fue empleado por Ludvig Nobel. Más tarde fue contratado como ingeniero por el banco Imperial de San Petersburgo. En 1874 inventó la máquina de calcular conocida con el nombre de *aritmómetro de Odhner*. Éste y otros inventos posteriores le reportaron fama y dinero, lo que le permitió montar una fábrica de máquinas de calcular. Al estallar la revolución rusa en 1917, se volvió de nuevo a Suecia, trasladando al mismo tiempo su fábrica. Un descendiente de la firma original se unió a la compañía Facit que comercializó la serie de calculadoras Facit.



Willgodt T. Odhner

**FRANK STEPHEN BALDWIN** (1838-1925) fue un inventor estadounidense. Hacia 1870 inventó diversos dispositivos como el anemómetro o un mecanismo para contar el número de pasajeros en un transporte público. En una compañía de seguros de vida conoció la máquina de calcular de Thomas de Colmar y eso lo animó a desarrollar la suya propia. En 1874 patentó su primera máquina de sumar, que denominó *Aritmómetro*. Esta y otra máquina también suya fueron exhibidas en Instituto Franklin de Filadelfia, y por ello Baldwin recibió la distinción *John Scott Medal* en calidad de invento del año. En 1900 patentó la *Baldwin Computing Engine*, una máquina capaz de multiplicar y dividir en un golpe, y en 1908 patentó el *Baldwin Recording Calculator*, una máquina calculadora-registradora provista de teclado. A partir de 1911 se asoció con el abogado Jay R. Monroe dando lugar a la *Monroe Calculating Machine Company*, la actual *Monroe Systems for Business*, la cual se encargaría de construir y comercializar las calculadoras de Baldwin.



*Leonardo Torres Quevedo*

y a la experimentación por cuenta propia. En 1893, presenta su primer trabajo científico, iniciándose un período de frenética actividad de unos treinta años de duración. Es de destacar que hasta que empezó a ser conocido por sus inventos él mismo sufragó sus investigaciones. En 1899 se traslada a Madrid. Desde hacía unos años disfrutaba de considerable fama y prestigio. En 1901 es nombrado Director del recién creado «Laboratorio de Mecánica Aplicada» (después, de Automática), cargo en el que desarrollaría gran parte de su producción científica posterior. Este laboratorio sería pionero en nuestro país en la fabricación de material de calidad para la experimentación científica. A lo largo de su fructífera etapa investigadora, diseñó un gran número de dispositivos e inventos que le valieron un reconocido prestigio a nivel mundial, entre los que acaba destacar los dirigibles, los transbordadores teleféricos, el Telekino (precursor del control remoto), las máquinas analógicas de cálculo, los autómatas ajedrecistas, etc. La muerte de Torres Quevedo sucede durante la Guerra Civil; el acontecimiento pasó inadvertido en España, sin embargo, la noticia alcanzó cierta resonancia en el extranjero.



*William S. Burroughs*

se fusiona con la *Sperry Rand Corporation* creándose la conocida *Unisys Corporation*.

**WILLIAM SEWARD BURROUGHS** (1855-1898) nació en las afueras de Nueva York. Durante la década de los 1870 se interesó por el diseño y montaje de una máquina de sumar; esto ocurrió mientras trabajaba como empleado en el *Cayuga County National Bank*. Al principio de los años 1880 se trasladó a St. Louis (Missouri) donde trabajó en la *Boyer Machine Company*; fue en esa época cuando comenzó a montar su calculadora, que posteriormente patentó (1888). Junto con otros tres socios, en 1886 fundó su propia empresa la *American Arithmometer Company* con el único objetivo de fabricar y vender su máquina: el precio de venta al público era de 475 dólares. En 1887 ya se habían colocado cincuenta unidades. Más adelante, Burroughs mejora la máquina y en 1895 las ventas llegaron hasta las 284 unidades. Ese mismo año, la empresa abre una sucursal en Inglaterra, y en el periodo 1895-1900 se vendieron 972 unidades. En 1953, la compañía pasó a denominarse *Burroughs Corporation*; en 1986

**HERMANN HOLLERITH** (1860-1929) estadígrafo estadounidense; inventor de las máquinas estadísticas de tarjetas perforadas (los primeros modelos datan de 1880 a 1889). En 1896, Hollerith funda su propia empresa, la *Tabulating Machine Company*, que daría lugar más tarde, después de una fusión con otra empresa, a la todopoderosa *International Business Machines Corporation*, más conocida por IBM.

**HOWARD HATHAWAY AIKEN** (1900-1973) nació en Nueva Jersey (EE.UU.). Estudió en la universidad de Wisconsin y se doctoró en Harvard en 1939. Siendo estudiante-colaborador en el departamento de Física en Harvard, vislumbró la construcción de una computadora grande. El objetivo era la resolución numérica de un sistema de ecuaciones diferenciales, del que no se conocía la solución exacta. La idea de Aiken era adaptar las máquinas de tarjetas perforadas de Hollerith. De este modo, desarrolló su primer modelo, la MARK I, en 1944, en colaboración con la IBM. Tres años después ya contaba con la MARK II, una computadora totalmente electrónica, y trabajó en las MARK III y MARK IV hasta 1952.



*Howard H. Aiken*

**KONRAD ZUSE** (1910-1995) inventor alemán de la computadora binaria Z1, destruida tras un bombardeo durante la segunda guerra mundial. Zuse estudió ingeniería mecánica en la universidad Técnica de Berlín. Después de graduarse, montó una computadora programable, la Z1, en el apartamento de sus padres, a pesar de las limitaciones de espacio. Desarrolló dos máquinas más, las Z2 y Z3, antes del final de la guerra, pero no pudo convencer al gobierno nazi para que financiara sus proyectos. Con los restos de la Z3 se marchó a Zürich, donde construyó la Z4, que fue usada con éxito en el Instituto Politécnico Federal de Suiza (Eidgenössischen Technischen Hochschule, ETH). También desarrolló un lenguaje de programación, que él denominó *Plan-kalkül*, que él preparó para escribir un programa para jugar al ajedrez. La Z4 fue explotada en el Instituto de Matemática Aplicada del ETH hasta el año 1955.

**JOHN VINCENT ATANASOFF** (1903-1995) nació en Nueva York. Una regla de cálculo que su padre había adquirido le hizo despertar el interés por los principios matemáticos que la regían, los logaritmos, y las funciones trigonométricas. Su madre era profesora de matemáticas y, a través de ella, Atanasoff, a la edad de nueve años, conoció el cálculo diferencial, series, logaritmos, representación de números en otras bases, etc. En 1925 obtuvo el grado de ingeniería eléctrica por la universidad de Florida; ese mismo año es contratado por la universidad estatal de Iowa, donde cuatro años más tarde obtuvo el grado de maestría en matemáticas, y en 1930 se doctoró en física teórica. A partir de entonces se interesó por desarrollar máquinas electrónicas que permitieran resolver los problemas de cálculo que le surgieron durante la realización de su tesis doctoral. En 1936 construyó el «laplaciómetro» una pequeña calculadora analógica que permitía estudiar la geometría de superficies. Atanasoff consideraba que esta calculadora poseía los mismos defectos que los demás aparatos analógicos, donde la precisión dependía de la actuación de otras partes de la máquina. Durante el periodo 1939-1941, y con la ayuda de Berry, entonces un brillante estudiante de ingeniería eléctrica, se dedicó a desarrollar la que posteriormente sería la computadora ABC (*Atanasoff-Berry Computer*). Al estallar la primera guerra mundial, el proyecto se detuvo. Más tarde fue contratado por las fuerzas armadas de los EE.UU., ocupando diversos puestos de relevancia. A lo largo de su vida académica y profesional recibió muchos premios.



*John V. Atanasoff*



Clifford E. Berry

**CLIFFORD EDWARD BERRY** (1903-1995) nació en el estado de Iowa (EE.UU.). Desde una edad muy temprana se interesó por la ingeniería eléctrica, título que alcanzó en 1939. Un profesor suyo, conociendo las capacidades de Berry, le presentó a Atanasoff con el objeto de que trabajase en el proyecto de desarrollar una computadora electrónica digital, la que posteriormente sería la ABC. Los detalles de la máquina se plasmaron en el trabajo de 1940, junto con Atanasoff, *Computing Machines for the Solution of Large Systems of Linear Algebraic Equations*. Se doctoró en 1948 con un trabajo en física. En 1949 ocupó el cargo de jefe de física en la *Consolidated Engineering Corporation* de Pasadena, y en 1952 pasó a ser director asistente de investigación. A partir de entonces desempeñó puestos académicos e de investigación relevantes.

**JOHN WILLIAMS MAUCHLY** (1907-1980) nació en Ohio (EE.UU.) y estudió en la universidad John Hopkins de Baltimore. Aunque comenzó estudiando ingeniería, pronto se interesó por las ciencias puras y la física, doctorándose en 1932. En 1940 despierta su atención por el desarrollo de las computadoras electrónicas, las cuales combinan su interés por la física y la ingeniería. Su tema central era el desarrollo de circuitos eléctricos para las computadoras. En 1941, sigue un curso de electrónica, especialmente diseñado para la defensa, en la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica de la universidad de Pensilvania; el curso fue impartido por Eckert, y a partir de entonces, se forja entre los dos hombres una larga y fructífera amistad, que influiría en el posterior desarrollo de los ordenadores electrónicos en los EE.UU. Después de la absorción de la *Eckert-Mauchly Computer Corporation*, Mauchly crea la *Mauchly Associates* que presidiría de 1959 a 1965.

**JOHN PRESPEER ECKERT** (1919-1995) nació en Filadelfia (EE.UU.). Estudió en la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica de la universidad de Pensilvania, donde se graduó en 1941. Junto con Mauchly, construyó en 1943-46, el Computador e Integrador Numérico Eléctrico, llamado *ENIAC*. Eckert diseñó esta máquina para que trabajara en base diez (y no en binario, como los ordenadores actuales), lo que la hacía mucho más compleja. En 1946 abandona, junto con Mauchly, la universidad de Pensilvania, y fundan la *Electronic Control Company* que se encargaría de construir el nuevo modelo con funcionamiento binario, el BINAC (computador automático binario); empezó a funcionar a partir de 1950, y los datos eran grabados en cintas magnéticas en vez de tarjetas perforadas. La *Electronic Control Company* pasaría a llamarse la *Eckert-Mauchly Computer Corporation*, que recibiría el pedido de construir la *Universal Automatic Computer* (UNIVAC), considerada como la primera computadora comercializada en los EE.UU. (se llegaron a montar cuarenta y seis unidades). La UNIVAC introducía la novedad de manejar datos alfanuméricos. En 1950, la *Remington Rand Corporation* absorbe la empresa de Eckert y Mauchly, pasando Eckert a ser ejecutivo de la empresa resultante; en 1955, ésta se fusiona con la *Sperry Corporation* para formar la *Sperry Rand Corporation*, que a su vez, en 1986, se fusiona con la *Burroughs Corporation*, convirtiéndose en *Unisys Corporation*. Eckert se jubila de la directiva de Unisys en 1989, pero seguiría ejerciendo como asesor de la misma.

**CLAUDE ELWOOD SHANNON** (1916-2001) nació en Gaylor (Michigan, EE.UU.) Se licenció en matemáticas e ingeniería eléctrica en 1936 por la universidad de Michigan. Más tarde se trasladó al Instituto Tecnológico de Massachusetts. En su obra *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits* explica el uso del álgebra de Boole para diseñar y optimizar circuitos eléctricos provistos de relés. Trabajó en una versión inicial de un computador que permitiera resolver numéricamente ecuaciones diferenciales; lo llamó el analizador diferencial. En 1941 empieza a trabajar en la compañía AT&T Bell Telephones en Nueva Jersey en calidad de investigador matemático. Allí permaneció hasta 1972. En 1948 publicó *A Mathematical Theory of Communication* (The Bell System Technical Journal) un trabajo fundamental en el que se describe un nuevo modelo de información y comunicación: la transmisión de imágenes, texto y sonido mediante una codificación compuesta exclusivamente por ceros y unos. Es en esta obra donde Shannon introduce por primera vez el término «bit» para designar un dígito binario (el valor cero o el uno). También se interesó por temas de inteligencia artificial. Por ejemplo, en su trabajo *Programming a computer for playing chess* (1950) figura un programa para jugar al ajedrez. Shannon recibió diversos premios en reconocimiento a sus trabajos y aportaciones.



*Claude E. Shannon*



*Alan M. Turing*

**ALAN MATHISON TURING** (1912-1952) nacido en Londres, es uno de los pioneros en el campo de la computación. Empezó la carrera en el King's College de la universidad de Cambridge en 1931. Como matemático, aplicó el concepto de algoritmo a los ordenadores digitales; sus investigaciones sobre las relaciones entre las máquinas y la naturaleza dieron lugar al campo de la inteligencia artificial. Gracias a una beca, se traslada a la universidad de Princeton, donde empieza a investigar lo que después se llamaría la *máquina de Turing*; esta máquina virtual es esencialmente lo mismo que un ordenador multiuso actual. En la época de Turing, los ordenadores se diseñaban para un objetivo concreto; la idea central que él vislumbraba es que los ordenadores deberían estar preparados para realizar cualquier tarea. Durante la segunda guerra mundial, Turing aplica sus ideas en el ministerio de las Comunicaciones de Gran Bretaña; ahí usa sus conocimientos matemáticos para descifrar los códigos que los alemanes utilizaban en sus mensajes. La tarea no era nada trivial, puesto que los alemanes habían desarrollado una computadora, denominada *Enigma*, capaz de generar códigos que constantemente iban cambiando. Turing y sus colegas científicos trabajaron a su vez en un computador, el COLOSSUS, que con éxito lograría descifrar los códigos creados por Enigma a tiempo. Después de la guerra, continuó trabajando en otros proyectos de construcción de ordenadores digitales.



*John von Neumann*

**JOHN VON NEUMANN** (1903-1954) matemático nacido en Budapest (originalmente, János von Neumann) nacionalizado estadounidense. Se matriculó en matemáticas en la universidad de Budapest en 1921, pero no asistió a las clases; en su lugar, estudió química en la universidad de Berlín durante el periodo 1921-1923; a pesar de todo, las notas de los exámenes de matemáticas en Budapest fueron sobresalientes; en esta universidad se doctoró en 1926. Dio clases en Berlín entre 1926 y 1929 y en Hamburgo de 1929 a 1930. Gracias a una beca, realizó estudios post-doctorales en la universidad de Gotinga bajo la dirección de Hilbert. A partir de 1930, es profesor visitante en la universidad de Princeton, y en 1931 es nombrado profesor, puesto que comparte con científicos como Einstein, Morse o Weyl. Trabajó en mecánica cuántica, álgebras de operadores lineales y acotados en espacios de Hilbert, teoría de juegos (donde demuestra el teorema mini-máx), funciones casi-periódicas, turbulencia, ecuaciones en derivadas parciales, y fue uno de los pioneros de la ciencia de la computación. También sugirió el método de la implosión como detonante de la bomba atómica y participó en el desarrollo de la bomba de hidrógeno. En 1955, el presidente Eisenhower le nombró miembro de la Comisión de la Energía Atómica, y recibió numerosos premios y condecoraciones.

**SEYMOUR R. CRAY** (1925-1996) nació en Chippewa Falls, (Wisconsin, EE.UU.). En 1950 se graduó en ingeniería eléctrica y en 1951 realizó un máster en matemáticas aplicadas por la universidad de Minnesota. Durante la década de los 1950 trabajó en la compañía *Engineering Research Associates*, y en las que la sucedieron, la *Remington Rand Corporation* y la *Sperry Rand Corporation*, siendo uno de los principales responsables del diseño del ordenador UNIVAC 1103. En esa época, Cray ya construía máquinas basadas en la tecnología RISC (*Reduced Instruction Set Computing*), mucho antes de que la IBM introdujera el acrónimo en los años 1970. En 1957 se asoció con el también ingeniero William Norris para fundar la *Control Data Corporation*, CDC; fue allí donde diseñó el CDC 1604, uno de los primeros ordenadores comerciales completamente transistorizado. En 1963 montó el CDC 6600, considerado por muchos el primer supercomputador de la historia, desarrollando una velocidad de cálculo de hasta nueve megaflops, muy por encima del ordenador más potente de IBM. Luego diseñaría el CDC 7600 ofreciendo cuarenta megaflops. En 1972, Cray abandonó la CDC y se estableció por su cuenta, fundando la compañía *Cray Research*, donde produjo la serie más famosa de supercomputadores: Cray-1 en 1976, Cray-2 en 1985 y Cray-3 en 1993. El montaje de estos superordenadores reunía aspectos totalmente innovadores; sus componentes electrónicos se disponían en un espacio físico reducido, lo que a su vez provocaba un sensible aumento de calor tal que podría llegar a fundir la circuitería. Para resolver este problema, Cray tuvo que diseñar al mismo tiempo sofisticados sistemas de refrigeración. La compañía *Cray Research* desarrolló también modelos multiprocesador, aunque él no se ocupó de esos proyectos. A finales de la década de los 1980 Cray se desvinculó de la compañía y fundó la SRC Computer donde seguiría construyendo superordenadores. En 1995 *Cray Research* fue absorbida por *Silicon Graphics*. Meses antes de su muerte por accidente de tráfico, Cray estaba dedicado a la construcción del superordenador SRC-6.

Sin duda alguna, Cray ha marcado un hito en la historia de la supercomputación. En palabras del consejero técnico de *Hewlett-Packard* Joel Birnbaum,

Seymour combinaba cualidades como la modestia, la dedicación y la brillantez, con una visión y un espíritu emprendedor de tal manera que le sitúan muy alto en el panteón de los grandes inventores. Está junto a Edison y Bell en la creación de una industria.

#### 4. COLOFÓN

Actualmente se observa una ampliación enorme del campo de aplicación de las matemáticas, ampliación que se explica fundamentalmente por la aparición y el desarrollo del material informático de cálculo. Con la creación de las computadoras, la velocidad de las operaciones aritméticas pasó, en menos

de treinta años, de 0.1 operaciones por segundo (cálculo a mano) a más de dos millones (ordenadores de la década de los setenta); esta cifra incluso se ha quedado pequeña en la actualidad, como se ha puesto de relieve en el párrafo anterior, desde la aparición de los superordenadores, que incluyen las posibilidades de vectorización y paralelismo, y pueden llegar a multiplicar por diez o incluso por cien el número de operaciones por segundo que llevaban a cabo los ordenadores de la generación anterior. Mientras tanto, otras herramientas han surgido y experimentado un desarrollo extraordinario, el ejemplo más evidente es la red de redes: Internet. En relación con la resolución de problemas complejos, con gran número de incógnitas y enormes cantidades de información a transferir, Internet permite conectar entre sí un conjunto de ordenadores, situados en lugares distantes, de manera que aprovechando la potencia de cálculo de cada uno de ellos, actúen como un único superordenador. En realidad, aquí se aplica la conocida máxima de que la unión hace la fuerza.

Nos encontramos en una permanente revolución tecnológica, la era digital ha comenzado y se extiende a todos los ámbitos de nuestro entorno cotidiano; nuevas palabras han surgido, como ofimática o domótica, implicando con ello que tanto en la oficina como en nuestra propia casa, la informática ya participa de nuestras vidas.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El autor de estas notas agradece a todos aquellos que han mostrado algún interés en el desarrollo histórico de la computación y que libremente han trasladado y dispuesto sus conocimientos en internet. En particular, agradezco a todos los responsables de las direcciones de internet que aparecen en la bibliografía, pues la información que se exhibe ha resultado ser muy valiosa y determinante durante la preparación de estas notas. Especialmente, agradezco a la Escuela de Matemáticas y Estadística de la universidad de St. Andrews (Escocia), por mantener una extraordinaria base de datos biográficos de matemáticos de todos los tiempos ([51]); su consulta ha resultado de enorme interés.

Asimismo, doy las gracias a mi estimado compañero Juan Manuel Nieto Vales por haberme puesto al corriente de la existencia del ábaco neperiano del museo Arqueológico Nacional y haberme pasado los artículos de Felipe Picatoste ([26]) y de Erwin Tomash ([34]), que describen magistralmente este fabuloso tesoro.

## 6. BIBLIOGRAFÍA Y DIRECCIONES DE INTERÉS

En esta sección se citan las principales obras que han permitido elaborar estas notas. Se incluye además una bibliografía de consulta para aquellos interesados que deseen profundizar en algunos de los temas que aquí se abordan. Existen muchos documentos de interés que sólo están disponibles en la red; aquí se citan algunos de ellos. En el momento de preparar este documento, todas estas direcciones estaban disponibles; espero que los responsables de las mismas sigan manteniéndolas en el futuro.

La idea inicial de estas notas es [13], un estupendo libro de análisis numérico que contiene numerosas reseñas históricas como complemento a los conceptos que se introducen a lo largo de toda la obra. En particular, se han usado las reseñas del primer capítulo.

La biografía de Ramón Silvestre Vereá García está basada en el artículo periodístico [22]. Para conocer más acerca de este personaje, pueden consultarse [1, 16, 19, 20]. La parte dedicada a Leonardo Torres Quevedo y su biografía están tomadas de [24], donde se ofrecen más detalles sobre la vida y obra de este ilustre personaje. Para ahondar más, se recomienda la referencia [33]. La biografía de Odhner está basada en [17]; en esta referencia se describe ampliamente la vida y obra de este gran ingeniero sueco. La reseña sobre Burroughs es una versión resumida de la que aparece en [44]. La biografía de Cray está basada en [14, 48].

Casi todas las demás biografías que aparecen en la sección 3 están tomadas de la base de datos biográficos [51] de la universidad de St. Andrews (Escocia).

- [1] OLIMPIO ARCA CALDAS *Emigrantes sobranceiros* (1998).
- [2] WILLIAM ASPRAY *John von Neumann and the Origins of Modern Computing*. The MIT Press (1990).
- [3] W. ASPRAY, A. G. BROMLEY, M. CAMPBELL-KELLY, P. E. CERUZZI, M. R. WILLIAMS *Computing Before Computers*. Iowa State University Press, Ames, Iowa (1990).  
<http://ed-thelen.org/comp-hist/CBC.html>
- [4] CHARLES BABBAGE *Passages from the Life of a Philosopher*. (New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, Piscataway, NJ, (1994).
- [5] MARTIN CAMPBELL-KELLY, WILLIAM ASPRAY *Computer: A History of the Information Machine*. HarperCollins Publishers (1997).
- [6] PAUL E. CERUZZI *A History of Modern Computing*. The MIT Press (2001).
- [7] CHARLES COLE *The Remington Rand Univac LARC*.  
<http://www.nersc.gov/~deboni/Computer.history/Page4.dir/pages/LARC.Cole.html>
- [8] B. JACK COPELAND *The Essential Turing: The ideas that gave birth to the computer age*. Oxford University Press, Oxford (2004).
- [9] ASAF GOLDSCHMIDT, ATSUSHI AKERA *John W. Mauchly and the Development of the ENIAC Computer*. An Exhibition in the Department of Special Collections Van Pelt Library, University of Pennsylvania.  
<http://www.library.upenn.edu/exhibits/rbm/mauchly/jwmintro.html>
- [10] HERMAN H. GOLDSTINE *The Computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1993).
- [11] SUSAN L. GRAHAM, MARC SNIR, AND CYNTHIA A. PATTERSON *Getting Up to Speed: The Future of Supercomputing*. The National Academies Press, Washington, D.C. (2005).  
[http://books.nap.edu/html/up\\_to\\_speed/](http://books.nap.edu/html/up_to_speed/)
- [12] GEORGE GRAY *UNIVAC I: The First Mass-Produced Computer*. Unisys History Newsletter, Vol. 5, No. 1 (2001).  
<http://www.cc.gatech.edu/gvu/people/randy.carpenter/folklore/v5n1.html>
- [13] G. HÄMMERLIN, K. H. HOFFMANN *Numerical Mathematics*. Reading in Mathematics, Springer-Verlag, New York [etc.] (1991).
- [14] TOBY HOWARD *Seymour Cray: An Appreciation*. Personal Computer World magazine, Feb. (1997).  
<http://www.cs.man.ac.uk/aig/staff/toby/writing/PCW/cray.htm>
- [15] GEORGES IFRAH *The Universal History of Computing: From the Abacus to the Quantum Computer*. John Wiley and Sons, Inc., New York (2002).  
<http://miami.int.gu.edu.au/dbs/1010/lectures/lecture4/Ifrah-pp121-133.html>
- [16] P. A. KIDWELL *Ideology and Invention: The Calculating Machine of Ramón Vereá*. Rittenhouse: Journal of the American Scientific Instrument Enterprise, Vol. 9, No. 2, (1995).
- [17] TIMO LEIPÄLÄ *The life and works of W. T. Odhner*. Greifswalder Symposium zur Entwicklung der Rechentechnik, (2003).  
[http://www.rechnerlexikon.de/en/wiki.phtml?title=life\\_and\\_works\\_of\\_W.\\_T.\\_Odhner](http://www.rechnerlexikon.de/en/wiki.phtml?title=life_and_works_of_W._T._Odhner)

- [18] LYNDA LESTER *The making of a CRAY-3*.  
[http://www.scd.ucar.edu/docs/SCD\\_Newsletter/News\\_summer93/04e.cray3.html](http://www.scd.ucar.edu/docs/SCD_Newsletter/News_summer93/04e.cray3.html)
- [19] JOHN H. LIENHARD *Verea's Calculating Machine*.  
<http://www.uh.edu/engines/epi1297.htm>
- [20] MARÍA LUISA LOSADA SANMARTÍN *A máquina de calcular de R. Verea*. (1997).
- [21] SCOTT MCCARTNEY *ENIAC: The Triumphs and Tragedies of the World's First Computer*. Walker & Company (2001).
- [22] XAIME MARIÑO *La apasionante vida de Ramón Verea: Un gallego inventó la calculadora*. La Voz de Galicia (30-12-2004).  
<http://www.lavozdegalicia.es/reportajes/noticia.jsp?CAT=130&TEXT0=100000061134>
- [23] CHARLES J. MURRAY *The Supermen : The Story of Seymour Cray and the Technical Wizards Behind the Supercomputer*. John Wiley and Sons, Inc., New York (1997).
- [24] MANUEL PERERA DOMÍNGUEZ *Ingenieros ilustres: Leonardo Torres Quevedo*.  
<http://www.cs.us.es/~perer/publicac/ltq/leonardo.html>
- [25] MANUEL PERERA DOMÍNGUEZ *ENIAC, matemáticas y computación científica*. La Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española, vol. 2, no. 3, pp. 494-518 (1999).  
<http://www.divulgamat.net/weborriak/Historia/Gaceta/Historia23.pdf>
- [26] FELIPE PICATOSTE *Ábaco neperiano o rabadológico del siglo XVII, que se conserva en el museo Arqueológico Nacional*. Museo Español de Antigüedades, Madrid, pp. 51-80 (1878).
- [27] JAMES REDIN *A Brief History of Mechanical Calculators. Part I: The Age of the Polymaths*.  
<http://www.xnumber.com/xnumber/mechanical1.htm>
- [28] JAMES REDIN *A Brief History of Mechanical Calculators. Part II: Crossing the 19th Century*.  
<http://www.xnumber.com/xnumber/mechanical2.htm>
- [29] JAMES REDIN *A Brief History of Mechanical Calculators. Part III: Getting Ready for the 20th Century*.  
<http://www.xnumber.com/xnumber/mechanical3.htm>
- [30] JULIO REY PASTOR *Los matemáticos españoles del siglo XVI*. Biblioteca Scientia (1913).  
[http://www.ateneodemadrid.com/biblioteca\\_digital/libros/Libro-00004.pdf](http://www.ateneodemadrid.com/biblioteca_digital/libros/Libro-00004.pdf)
- [31] EDUARDO RENÉ RODRÍGUEZ ÁVILA *Principia Historia*.  
<http://homepage.mac.com/eravila/history.html>
- [32] RAÚL ROJAS, ULF HASHAGEN *The First Computers—History and Architectures*. Cambridge, Mass. The MIT Press (2002).
- [33] J. G. SANTESMASES *Obra e inventos de Torres Quevedo*. Instituto de España, Madrid (1980).
- [34] ERWIN TOMASH *The Madrid Promptuary*. Annals of the History of Computing, Vol. 10, No. 1, pp. 52–67 (1988).
- [35] R. VELMA, HARRY D. HUSKEY *Lady Lovelace and Charles Babbage*. Annals of the History of Computing, 2, pp. 299-329 (1980).
- [36] HÉCTOR VENTI *La historia que llevó a construir la primera computadora*.  
<http://www.monografias.com/trabajos14/histcomput/histcomput2.shtml>
- [37] MICHAEL R. WILLIAMS *A History of Computing Technology*. John Wiley and Sons, (1997).

- [38] *A Personal Story of Interest to Business Men and Accountants: An Interview with Mr. Baldwin.* Monroe Systems for Business.  
[http://www.monroe-systems.com/company\\_history\\_personal\\_story.asp](http://www.monroe-systems.com/company_history_personal_story.asp)
- [39] *Historia de la Computación.* Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad de Granada.  
<http://www-etsi2.ugr.es/alumnos/mlii/>
- [40] Brujula.Net *Ábaco neperiano.* Wikipedia, la enciclopedia libre.  
[http://www.brujula.net/wiki/%C3%81baco\\_neperiano.html](http://www.brujula.net/wiki/%C3%81baco_neperiano.html)
- [41] *Reconstruction of the Atanasoff-Berry Computer (ABC).* Ames Laboratory, Iowa.  
<http://www.scl.ameslab.gov/ABC/>
- [42] *Who was Charles Babbage?* Charles Babbage Institute.  
<http://www.cbi.umn.edu/exhibits/cb.html>
- [43] IBM 701: *A notable first: The IBM 701.*  
[http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/701/701\\_intro.html](http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/701/701_intro.html)
- [44] *Inventor of the week Archive: William Burroughs. Adding Machine.* (2002)  
<http://web.mit.edu/invent/iow/burroughs.html>
- [45] *Museum of Soviet Calculators on the Web: Odhner*  
<http://www.taswegian.com/MOSCOW/odhner.html>
- [46] *Odhner Calculator Memorial Site.*  
<http://mywebpages.comcast.net/wtodhner/calcs.html>
- [47] *Museo de Informática La Dulce.*  
<http://www.ladulce.org.ar/museoinf/>
- [48] *Historia de la Computación: Seymour Cray (1925-1996).*  
<http://www-etsi2.ugr.es/alumnos/mlii/Cray.htm>
- [49] CRAY, The supercomputer company: *Cray History.*  
[http://www.cray.com/about\\_cray/history.html](http://www.cray.com/about_cray/history.html)
- [50] *Cray-CYBER.ORG.*  
<http://www.cray-cyber.org/general/start.php>
- [51] The MacTutor History of Mathematics archive: *Indexes of Biographies.*  
<http://turnbull.mcs.st-and.ac.uk/~history/BiogIndex.html>
- [52] HORST ZUSE *History of Computing and Konrad Zuses Work: Konrad Zuse and His Computers.*  
[http://irb.cs.tu-berlin.de/~zuse/Konrad\\_Zuse/](http://irb.cs.tu-berlin.de/~zuse/Konrad_Zuse/)
- [53] HORST ZUSE *Links to WWW-Sites of the History of Computing .*  
<http://irb.cs.tu-berlin.de/~zuse/history/index.html>