

Uno más uno igual a dos.

Desde el ábaco hasta I.B.M.

Una aproximación a la historia de la automatización del cálculo

No es cosa digna de hombres excelentes perder horas como esclavos

para hacer cálculos que tranquilamente podrían confiarse a cualquier otro

si se usaran máquinas

Gottfried Wilhelm Leibniz

filósofo, escritor y matemático alemán (1646–1716)

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo abordaremos someramente la evolución, desarrollo y complejización del cálculo automático a través de la historia. Como elemento fundamental del trabajo científico, la posibilidad de mecanización de las operaciones matemáticas ha sido un objetivo largamente perseguido por profesionales de las matemáticas, ingenieros, inventores, astrónomos y demás científicos. Incluso los funcionarios públicos, militares, estudiantes e investigadores... Todos ellos han buscado una forma de acelerar los tediosos procesos de cálculo, sobre todo los más repetitivos, que exigen una ingente cantidad de tiempo sin tener una dificultad que lo justifique.

Como elemento consustancial a la fabricación de máquinas calculadoras, nos detendremos también en algunos hitos en la historia de la automatización mecánica. Muchas veces ha sido el bajo nivel de los conocimientos y técnicas de fabricación lo que ha retardado la aparición de máquinas de calcular, por la falta de piezas lo suficientemente calibradas y precisas. El desarrollo de los mecanismos automáticos corre paralelo al de la construcción de máquinas calculadoras, que es, en suma, el objetivo de estudio de este trabajo. También nos detendremos en determinados avances en el mundo de las matemáticas, esenciales para obtener una aplicación práctica de las máquinas.

Como memoria de curso que es, no aspiramos sino a una descripción de los momentos históricos que consideramos fundamentales en el desarrollo de máquinas calculadoras.

1.- DE LOS COMIENZOS A LA PRIMERA CALCULADORA.

El hombre aprendió a contar con los dedos. Es la forma más fácil, la más asequible y la primera que se le ocurre hasta a los niños de hoy en día. Al tener diez dedos entre las dos manos, la base 10 se convirtió en la base numérica más usada. Para representar números más grandes que diez se usaron diversos métodos, desde un auxiliar que contara con otros diez dedos hasta la extensión a falanges, dedos de los pies, brazos u otras partes del cuerpo. Algunos pueblos (bastantes de entre los mesopotámicos) utilizaron otros sistemas de numeración, principalmente en base 60 (sexagesimales). Pero la base 10 y el sistema posicional triunfaron como expresión numérica, especialmente después de la introducción de la numeración arábiga; el sistema de numeración parece que fue inventado por los hindúes en los siglos I o II d.C.. Los árabes lo tomaron de ellos y lo transmitieron a la península ibérica; desde allí fue pasando al resto de Europa, donde el primero que usó numeración arábiga fue el monje Geribert D'Aurillac, posteriormente papa Silvestre II (h. 938–1003), siendo generalizados por el matemático italiano Leonardo Fibonacci (h. 1175–1240) en su celeberrimo *Liber abaci*

(ca. 1202), en el que muestra los conocimientos aprendidos de los árabes durante sus viajes. La numeración arábiga es, sin duda, mucho más flexible para el cálculo que la numeración romana, e introduce en el cálculo el concepto de valor posicional del número, decisivo a la hora de enfrentarse con cantidades grandes.

EL ÁBACO.

El sistema posicional proporcionó la primera máquina de calcular de la que hay noticia: el ábaco.

La amplísima dispersión cultural del ábaco permite suponer que fue un invento simultáneo de distintas civilizaciones. Ábacos hay en China, Japón, Roma, Grecia, el imperio inca, Egipto, en distintos momentos y casi desde el comienzo de las culturas.

Los primeros ábacos no eran más que hendiduras en la arena que se rellenaban de guijarros, hasta diez en cada hendidura. La primera correspondía a las unidades, la segunda a las decenas, la tercera a las centenas, y así sucesivamente. Para representar un orden mayor se retiraban los guijarros de la fila precedente y se ponía uno nuevo en la posterior. Posteriormente se utilizó un tablero lleno de arena, y luego, entre griegos y romanos, una plancha de cobre con hendiduras para colocar los guijarros. Los aztecas usaban varillas paralelas de madera insertadas en un vástago horizontal. El ábaco ruso era (y es) un marco de madera con varillas paralelas y cuentas insertadas en las varillas. El ábaco chino (*suanpan*) actual es muy similar al ruso, pero está dividido en dos zonas (inferior y superior) por un listón: por encima del listón, cada cuenta tiene valor 5; por debajo, valor 1.

El ábaco funciona por el valor posicional dado a cada una de las varillas, columnas u hileras de guijarros. Junto a ello, el valor de la cantidad de cuentas en cada varilla, o de guijarros en cada columna, proporcionan al ábaco una flexibilidad de cálculo que le ha permitido sobrevivir hasta nuestros días. El uso generalizado del ábaco retardó la difusión del sistema de numeración decimal o arábigo, ya que incorporaba de hecho el concepto de valor posicional de la cifra sirviendo cualquier otro sistema de numeración (v.g. el romano) no demasiado complicado para anotar el resultado final y eliminando la pesadez del cálculo con cifras romanas.

LAS TABLAS DE MULTIPLICAR DE NAPIER. LA REGLA DE CÁLCULO.

El nuevo sistema de numeración decimal desplazó al sistema romano para efectuar cálculos complicados a principios del siglo XVI. Pero la novedad incluía un aprendizaje, y operaciones tan simples como dividir requerían un profesional de las matemáticas.

John Napier (1550–1617), matemático escocés, realizó dos grandes contribuciones al cálculo: el descubrimiento de los logaritmos y la construcción de las primeras tablas de multiplicar. Ambos descubrimientos facilitaron notablemente las operaciones con los números arábigos.

Las tablas de multiplicar de Napier se publicaron en 1617. Eran tablillas rectangulares conteniendo la tabla de multiplicar de un número del uno al diez, divididas en nueve zonas; en la superior aparecía el número, mientras que las ocho restantes contenían sus sucesivos múltiplos, hasta en noveno. Las zonas de los múltiplos tenían separadas las cifras por una línea oblicua. Para multiplicar no hace falta más que colocar alineadas las tablillas correspondientes a las cifras del número que queramos multiplicar y sumar adecuadamente las cifras coincidentes. El procedimiento se extiende para multiplicar números de tantas cifras como se quiera, siempre que se disponga del suficiente número de tablillas.

Éste es un primer intento de facilitar las operaciones de cálculo con métodos mecánicos, aunque el fundamento del mecanismo sea la mano del hombre y el procesamiento de la información, su cerebro.

Mucho más decisivo que las tablas de multiplicar fue la introducción de los logaritmos. Para resumir diremos que el trabajo con los logaritmos permite reducir de forma muy simple las multiplicaciones y divisiones a

sumas y restas, respectivamente. Basadas en los logaritmos se construyeron las primeras *reglas de cálculo*, las primeras máquinas analógicas de cálculo. Todas derivan de dos prototipos construidos por Edmund Gunter (1581–1626), matemático y astrónomo inglés, y William Oughtred (1574–1660). La regla de cálculo no deja de ser un auxiliar de la memoria, pues necesita del concurso del operador para efectuar las operaciones, recordar los resultados intermedios y realizar todos los pasos del cálculo con las partes móviles de la regla. Pero es un utilísimo instrumento, que en distintas versiones y sobre diversos materiales ha estado vigente en los procesos de cálculo hasta fecha recentísima, prácticamente hasta la aparición de las calculadoras digitales de bajo costo.

LAS MÁQUINAS CALCULADORAS.

Aunque parece ser que no fue la primera máquina calculadora corresponde a Blaise Pascal (1623–1662) el mérito de haberla dado a conocer al mundo. La tradición quiere que Pascal construyera la máquina para ayudarse en la tediosa labor de hacer largas sumas mientras ayudaba a su padre, intendente de finanzas en Rouen: he aquí la conexión entre el cálculo repetitivo y su proceso de automatización.

La máquina de Pascal era una sumadora mecánica, compuesta por varias series de ruedas dentadas accionadas por una manivela. La primera rueda correspondía a las unidades, la segunda a las decenas, etc... y cada vuelta completa de una de las ruedas hacía avanzar 1/10 de vuelta la siguiente. La máquina, de la que se hicieron varios modelos con fines comerciales, funcionaba por el principio de adición sucesiva; mediante otro procedimiento, incluso restaba. Se introduce así el concepto de *saldo o resultado acumulativo*, que se sigue usando hasta nuestros días: la máquina proporciona de manera automática (con el giro de la manivela) el resultado, dispuesto para leerse y sin participar en el proceso de toma de decisión (compárese con la regla de cálculo, donde el operador ha de decidir dónde coloca la pieza móvil de la regla). La máquina de Pascal efectúa el cálculo de forma mecánica, ofreciendo el resultado final.

Gottfried Leibniz (1646–1716) amplió los horizontes de las máquinas calculadoras diseñando una máquina multiplicadora. La máquina de Leibniz no sólo contaba con ruedas dentadas sino que éstas eran de forma altamente ingeniosa: tenían los dientes escalonados, de forma que la multiplicación no se hacía por sumas sucesivas, sino en un solo movimiento de manivela. La calculadora de Leibniz sumaba, restaba, multiplicaba y dividía de manera automática. Desgraciadamente, el nivel técnico de la época no permitió construirla.

Un nuevo paso fue dado en 1709 por Giovanni Poleni y su *máquina aritmética*, en la que los cálculos mecánicos se realizan en virtud del movimiento de caída de un peso, limitándose el operador a introducir los datos y anotar el resultado. El principio de funcionamiento fue esencial para el desarrollo de las calculadoras: se programa el cálculo y la máquina hace el resto. Y es lo que hacemos aún hoy.

El fundamento de la máquina de Leibniz, la *rueda escalonada*, sirvió posteriormente para construir la primera calculadora práctica: el *aritmómetro* de Charles Thomas, de 1820. En esencia era la calculadora de Leibniz, pero no hasta esa fecha se consigue la suficiente precisión técnica como para construirla. Una variante posterior de la rueda escalonada de Leibniz, la *rueda Odhner* (1875), se popularizó en Estados Unidos, industrializándose la fabricación de máquinas calculadoras. Poco a poco se introdujeron nuevos sistemas de introducción de datos (el teclado, en 1884) y perfeccionamientos diversos en los sistemas (el impresor de datos, en 1875 por Barbour). Las máquinas mecánicas de calcular triunfaban.

2.- DE LAS CALCULADORAS MECÁNICAS A LOS ORDENADORES.

LA MÁQUINA DIFERENCIAL DE BABBAGE.

Hasta ahora hemos visto máquinas que permiten realizar operaciones aritméticas básicas, tales como sumar, restar, multiplicar y dividir, mediante el concurso de un operador humano que ponga en marcha el mecanismo de cálculo. Estas máquinas son muy útiles (y lo han sido hasta el día de hoy) para hacer más llevadera la

contabilidad con grandes columnas de sumas y algunas otras operaciones matemáticas sencillas.

El salto lo dio Charles Babbage (1792–1871). En 1822 construyó su *máquina diferencial*, un nuevo modelo de sumadora que permitía, utilizando el *método de las diferencias*, resolver polinomios de segundo grado. Era la primera máquina proyectada para hacer algo más que sumar y restar, aunque era lo que realmente hacía. Proporcionaba la solución a un problema matemático; y trabajando por aproximaciones representaba una manera de resolver problemas distintos.

Pero era *un* problema, y sólo uno, lo que la máquina diferencial de Babbage podía resolver. El siguiente paso era una máquina de propósito general, que permitiera introducir como datos tanto el problema como los datos del mismo propiamente dichos. El mismo Babbage diseñó sobre el papel una *máquina analítica*, que resolvería problemas de todo tipo, pues contemplaba la posibilidad de introducir el programa (y el problema a tratar con él) al mismo tiempo que los datos, realizándose las operaciones en el centro de proceso (llamado *molino*). Pero otra vez las deficiencias técnicas de la época impidieron hacer realizable la máquina analítica hasta la aparición de los ordenadores electrónicos.

EL TELAR DE JACQUARD Y LAS TARJETAS PERFORADAS.

La industria del textil va a proporcionar el primer ejemplo de suministro de datos variables para el funcionamiento automático de una máquina. La complejidad de los dibujos de las telas, junto con la gran cantidad de husos necesarios para realizarlos, hará que se piense en un método de mecanizar el rutinario trabajo de intercambio de distintas tramas y urdimbres.

El primer sistema es debido a Basilio Bouchon, que, en 1722, ideó un sistema para seleccionar de forma automática los hilos a desplazar en el paso del huso para obtener el dibujo deseado. Dispuso las agujas del telar de forma que encontraran en un extremo una *cinta de papel perforada*. Dependiendo de si las agujas encontraban o no un agujero en la cinta, los hilos pasaban por encima o por debajo, formando el dibujo de la tela. El cilindro resbalaba, necesitaba constantemente un operario para moverlo, era proclive a los desgarros por acción de las agujas, pero proporcionaba automáticamente el dibujo para los tejidos. Su compatriota Falcón perfeccionó el método en 1728, sustituyendo el cilindro por un eje de sección cuadrada, y la cinta continua de papel perforado por láminas de cartón unidas entre sí, lo que facilitaba el arrastre y el posicionamiento de los agujeros frente a las agujas. Posteriormente, Jacques de Vaucanson consiguió, en 1745, que el movimiento del cilindro (ya cuadrado) fuera el que movía las agujas, eliminando la necesidad del operario para hacer avanzar el cilindro.

Pero fue Jean Marie Jacquard (1752–1834) el primero que reparó en que el sistema de cinta perforada era *un sistema de introducción de datos para una máquina*. En 1805 perfeccionó un telar de Vaucanson, de manera que fuese el mismo telar, mediante la *lectura* de la información contenida en la cinta perforada, el que decidiese qué agujas se levantaban y cuales no. Los hilos estaban conectados a unas palancas y éstas a unos vástagos, que mediante muelles se ponían en contacto con la cinta perforada. El operario, mediante un pedal, accionaba un listón (la *grifa*) que tiraba de las palancas según estuvieran levantadas o no, lo que era decidido por la introducción de los vástagos en los agujeros de la cinta de papel, realizándose el dibujo de la tela. Variando la cinta se conseguían unos dibujos u otros.

La cinta de papel perforado constituye la primera forma de introducción de datos en una máquina para que ejecute una acción mecánica. Viene a equivaler a las ruedas de la máquina de Babbage, donde el telar decide qué variables utilizar en función de los agujeros de la cinta para realizar una acción que no por repetitiva (tejer) resulta menos variada (varía el dibujo; la máquina de Babbage sólo resolvía polinomios de segundo grado, pero el polinomio a resolver variaba según la voluntad del operario; el telar de Jacquard sólo teje, pero el dibujo del tejido depende de la información suministrada por la cinta perforada).

De la unión de los dos (la cinta perforada y la máquina de calcular) surgirían las primeras máquinas que tratan

datos.

HOLLERITH Y EL CENSO DE LOS ESTADOS UNIDOS.

En los Estados Unidos existe la obligación constitucional de hacer un censo de población cada diez años. Pero el constante aumento de población hizo que se tardaran siete años en contabilizar los resultados del censo de 1880; el volumen de información era tal que se preveía que los resultados del de 1890 no estarían disponibles sino después de 1900 si se utilizaban los métodos manuales de recuento de información.

Hermann Hollerith (1860–1929), ingeniero de minas y estadístico de la Oficina del Censo de los Estados Unidos, se dio cuenta de que muchas de las preguntas del Censo tenían una respuesta del tipo si/no. Y, lo más importante, que este tipo de respuestas podían codificarse en forma de una ausencia o presencia de un agujero en una cinta o tarjeta de papel, que podía ser leída con métodos eléctricos. Conectado a la máquina lectora se encontraría un cuadro con los diales donde se irían registrando los datos. La máquina de Hollerith se probó con el censo de Baltimore en 1887 y, vista su completa funcionalidad, se realizó con él el censo de los Estados Unidos de 1890, que quedó terminado en dos años y medio: en un tercio del tiempo con un 25% más de información a tratar.

El salto cualitativo es importante. Por primera vez se está haciendo uso de un código binario para el almacenamiento de la información. Además, el código es leído por procedimientos eléctricos, se utiliza un equipo estandarizado para el tratamiento de la información (las tarjetas de Hollerith se han usado hasta hoy) y se produce el primer *sistema de tratamiento de datos*. Las *máquinas tabuladoras* (como se llamó a las construidas por Hollerith) alcanzan su máximo rendimiento cuando la cantidad de datos es ingente y el *programa de mando* es simple (contar, por ejemplo); son especialmente aplicables a los sistemas contables con gran número de datos (v.g. la contabilidad de una empresa).

La tabuladora de Hollerith, además de constituir un éxito comercial, supone el final de la evolución de las máquinas calculadoras mecánicas. Hasta la máquina tabuladora, las calculadoras se han servido de mecanismos puramente mecánicos (los guijarros o cuentas del ábaco, las ruedas de Pascal, Leibniz y Babbage, las tarjetas perforadas de Hollerith) para efectuar cálculos sencillos. A partir de aquí comienza la época de las calculadoras electromecánicas.

3.- LAS CALCULADORAS ELECTROMECAÑICAS.

Los problemas fundamentales de las calculadoras mecánicas eran tres: la necesidad de un operador humano para el suministro mecánico de datos (introducir las tarjetas), la falta de flexibilidad en el programa (que venía impuesto por el diseño de la máquina) y el proceso de cálculo, que seguía siendo mecánico (la máquina tabuladora de Hollerith *leía* datos por procedimientos eléctricos, pero *sumaba* mediante elementos mecánicos). Las calculadoras electromecánicas solucionaron por primera vez estos problemas.

El fundamento de todo fue la utilización del código binario, que necesitaba solamente de dos elementos de cálculo (el 0 y el 1, el paso o la ausencia de corriente). A mediados del siglo XIX el matemático inglés George Boole (1815–1864) elaboró la teoría del *álgebra de la lógica* o álgebra booleana en 1847. El álgebra de Boole es una herramienta imprescindible para el establecimiento de decisiones lógicas; su plasmación en circuitos eléctricos la realizó Claude Shannon en 1938. Además, funciona perfectamente con un código binario (en el desarrollo lógico de la teoría, *sí* o *no*; en un circuito eléctrico, *paso* o *ausencia* de corriente; en código binario, 0 ó 1).

Para implementar el código binario, definitivamente asentado en los procesos de automatización del cálculo, en un sistema eléctrico se usaron los relés. El relé no es más que un interruptor, que se puede accionar por procedimientos magnéticos o electromagnéticos. Como todo interruptor no tiene más que dos posiciones: abierto o cerrado. Un buen sistema para soportar trabajo con código binario, donde el relé *abierto* no permite

el paso de corriente y se hace equivaler al 0 binario, y el relé *cerrado* permite el paso de corriente, equivaliendo al 1 binario.

Con base los sistemas de relés se construyeron las primeras calculadoras electromecánicas. Leonardo Torres Quevedo dio a la luz su *aritmómetro electromecánico*, la primera calculadora del mundo a base de relés, que proporcionó la evidencia práctica del uso de los relés: rapidez de cálculo, posibilidad de introducir circuitos lógicos e incipiente memoria, aunque falló en la implementación del programa, que seguía dependiendo de las características físicas de la máquina. George Stibitz construyó en 1923 una sumadora de relés que funcionó en los laboratorios Bell, el *Complex Calculator*, con introducción de datos por medio de teclado; posteriormente fue mejorado con el *Model 3*, un verdadero prototipo de ordenador que solucionaba problemas de polinomios introducidos previamente mediante teclado o cinta perforada, tal y como pretendía Babbage con su máquina analítica.

Mientras en los Estados Unidos se seguían desarrollando calculadoras mecánicas para compilar tablas de tiro artillero, en Alemania, Konrad Zuse, tras construir en 1938 una calculadora completamente mecánica (la Z1) y mejorarla añadiendo 200 relés (la Z2, en 1939) fabricó en 1941 en el Instituto Experimental Alemán de Aeronáutica la primera calculadora programable de propósito general utilizando relés: la Z3, el antepasado más directo de los ordenadores electrónicos. Los programas se introducían mediante cinta perforada y los resultados se leían en un tablero; trabajaba en binario, disponía de memoria y hacía cálculos en coma flotante. Fue el primer ordenador, en el sentido que aceptaba variaciones de programa: ya no era necesario limitarse a las especificaciones físicas de la máquina, sino que el procedimiento de cálculo o *programa* era suministrado por los operadores. Zuse ideó incluso un lenguaje de programación, el *Plankalkül*.

La culminación de las calculadoras electromecánicas fue el Mark-1. Era un calculador gigantesco, desarrollado en 1944 por I.B.M. y el profesor Howard Aiken (1900-1973) de la Universidad de Harvard. Contenía tres millones de relés, medía 15 metros de largo por 2,5 de alto, sumaba dos cifras en 0,3 segundos, las multiplicaba en 4 segundos y las dividía en 12. Se le suministraba el programa por medio de cinta perforada y daba las respuestas en tarjeta perforada o imprimiendo en máquinas de escribir. Era todo lo más que se podía hacer con la tecnología de la época.

4.- LOS ORDENADORES ELECTRÓNICOS.

Las limitaciones de las calculadoras electromecánicas venían dadas por la lentitud (relativa, claro está) de las operaciones con relés. Al ser un elemento mecánico su velocidad de trabajo venía condicionada por la velocidad del interruptor que realmente eran. La sustitución de los relés por las *válvulas de vacío* solventó el problema, y abrió el paso a los ordenadores electrónicos.

LA PRIMERA GENERACIÓN.

La válvula de vacío o *diodo*, inventada en 1904 por J. A. Fleming, es en esencia un interruptor en el que el paso de corriente no se verifica por la unión de dos piezas metálicas sino por el paso o no de una corriente de electrones. Al desplazarse los electrones a una velocidad cercana a la de la luz (para lo que se hace el vacío dentro de la válvula) la velocidad de reacción de la válvula es aproximadamente de milésimas de segundo, considerablemente menor que la del relé, que no deja de ser un interruptor mecánico.

El primer ordenador a base de válvulas de vacío fue el ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Calculator*), construido entre 1936 y 1946 en la Universidad de Pensylvania, por John W. Mauchly y John P. Eckert; tenía 18.000 tubos de vacío, pesaba tres toneladas, consumía 150 Kw (que producían un calor insoportable) y ocupaba una planta entera de la Escuela Moore de Electrónica (180 m²). Tenía menos memoria que el Mark-1, pero hacía su trabajo de una semana en una hora. Era igualmente un calculador universal, pero el programa había que establecerlo cambiando circuitos y conexiones de las válvulas, lo que dadas las dimensiones suponía paseos considerables. Y si uno sólo de los 18.000 tubos de vacío se fundía (lo

que ocurría con espantosa frecuencia), el sistema dejaba de funcionar hasta que se sustituyese. Se utilizó para compilar tablas de tiro artillero.

Pero fue el primer ordenador electrónico.

El problema del ENIAC era la dificultad de programación. Cualquier cambio en el programa debía reflejarse en las conexiones entre las válvulas de vacío. Los siguientes esfuerzos se encaminaron a facilitar la labor del programador.

John von Neumann (1903–1957), interesado en el proyecto de la bomba atómica, necesitaba un calculador rápido y de fácil programación. Gracias a su prestigio, la Universidad de Princeton construyó el EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*), que fue terminado en 1949. Utilizaba lógica binaria y, lo más importante, estaba gobernado por programas introducidos mediante cinta perforada, con lo que se evitaba el continuo trasiego de conexiones. Semejantes al EDVAC fueron el Mark-II de la Universidad de Manchester y el BINAC de Eckert y Mauchly. A partir del UNIVAC (*Universal Automatic Computer*) de Eckert y Mauchly (un ordenador comercial con memoria y programas, distribuido por la Remington Rand Co.), los ordenadores se hacen lo suficientemente rápidos y versátiles como para entrar en el mercado. Es la primera generación de ordenadores electrónicos, caracterizada por grandes instalaciones, mucho cableado y consumo y poca potencia de cálculo.

LA SEGUNDA GENERACIÓN.

El siguiente paso fue la miniaturización.

En 1948, Shockley, Bardeen y Brattain, de los Laboratorios Bell, inventan el *transistor*. En principio funciona de forma parecida a la válvula de vacío, solo que no se recalienta (ni se funde, por tanto), tiene un tiempo de reacción mucho menor (del orden de décimas de millonésima de segundo) y es mucho más pequeño (entre diez y veinte veces menor que la válvula). Se desarrollan ordenadores transistorizados y se introducen memorias externas de núcleos de ferrita y banda magnética. Aparecen los primeros lenguajes de programación y la competencia en el mercado comienza a ser considerable.

LA TERCERA GENERACIÓN.

Es la del circuito integrado.

El circuito integrado no es más que la mínima expresión del transistor. Se basa en las propiedades de los semiconductores, que funcionan como transistores, pero que tienen un tamaño pequeñísimo (15 ó 20 transistores en unos pocos milímetros cuadrados). El modelo 360 de I.B.M. ejemplifica el nacimiento de esta generación. Las velocidades de cálculo se disparan al nanosegundo (10^{-9} segundos), las memorias externas al megabyte (2^{13} posiciones de memoria) y se generalizan los periféricos variados: impresores, lectores de tarjetas, lectores ópticos, discos flexibles de almacenamiento... Nacen los lenguajes de alto nivel, de sintaxis fácilmente comprensible por el programador.

5.- CONCLUSIÓN.

Formalmente se distinguen otras dos generaciones de ordenadores, que basan su diferencia en el nivel de integración de los circuitos electrónicos. Hoy por hoy estaríamos inmersos en la quinta generación, de altísimo nivel de integración, velocidades de cálculo asombrosas, sistemas de almacenamiento de memoria muy masivos y sistemas de salida y entrada de datos espectaculares. Se investigan posibilidades de inteligencia artificial, reproducción de redes neuronales, comunicación directa de seres humanos con los procesadores.... El ordenador está profundamente imbricado en todos los procesos de la vida diaria: la educación, el ocio, el trabajo. Se está investigando en tecnología óptica, donde la velocidad de proceso sería la

de la luz (300.000 kms./s), la más alta que el ser humano puede manejar.

El hombre ha desarrollado mecanismos para auxiliarse en la tarea puramente humana de pensar. Desde contar con las manos hasta los ordenadores actuales todo ha consistido en liberar a la mente humana de las tareas repetitivas y tediosas, avanzando progresivamente hasta la colaboración en las más habituales actividades diarias. El cálculo automático es hoy un hecho.

EPÍLOGO.

Dice mucho de la penetración de las máquinas electrónicas de cálculo automático (vulgarmente conocidas como *calculadoras*) la aparición de capítulos especiales en los textos de matemáticas de bachillerato en los que se trata de las operaciones y manejo de las calculadoras para niños de catorce años. Sin embargo hemos tenido que retroceder 45 años para encontrar una descripción del proceso *manual* para extraer una raíz cúbica para niños de 13–14 años; mientras tanto, en el libro de bachillerato moderno, se indica para calcular una raíz cúbica, que si [la calculadora] *no tiene ninguna tecla para potencia, hay que hacerlo por tanteo*.

CRONOLOGÍA

ca. 1202	Leonardo Fibonacci escribe el <i>Liber abaci</i> . Se difunde la numeración arábiga en Europa.
1452–1519	Leonardo da Vinci. Diseñó una máquina sumadora, que no pudo ser construida.
1617	John Napier descubre los logaritmos e inventa las tablillas de multiplicar.
1621	William Oughtred inventa la regla de cálculo, basada en los logaritmos de Napier; es la primera calculadora analógica.
1623	William Schickard construye una máquina sumadora, probablemente la primera del mundo
1642	Blaise Pascal construye su máquina sumadora, la primera con fines comerciales.
1671	Gottfried Leibniz diseña la <i>calculadora universal</i> . No se construyó por falta de tecnología adecuada.
1709	Giovanni Poleni construye la <i>máquina aritmética</i> , que efectúa los cálculos por un mecanismo de pesas.
1722	Basilio Bouchon inventa la cinta de papel perforada sobre cilindro, aplicada al telar. Falcon, en 1728, lo perfecciona. Vaucanson, en 1805, mejora el sistema.
1805	Joseph Jacquard automatiza los telares mediante las cintas de papel perforado, que suministran los dibujos de las telas. Es el primer sistema automático de introducción de datos en una máquina.
1820	Charles Xavier Thomas consigue fabricar el <i>aritmómetro</i> , que no es más que la <i>calculadora universal</i> de Leibniz.
1822	Charles Babbage construye la <i>máquina de diferencias</i> , que soluciona polinomios de segundo grado.
1847	George Boole elabora la teoría algebraica lógica.
1852–1939	Leonardo Torres Quevedo. Su <i>aritmómetro electromecánico</i> soluciona ecuaciones mediante relés.
1875	Se patenta la <i>rueda Odhner</i> , industrializándose la producción de sumadoras. Barbour inventa el impresor de datos.
1884	Se introduce el teclado en las máquinas sumadoras.

1887	Hermann Hollerith construye su <i>máquina tabuladora</i> , el primer equipo automático de tratamiento de datos.
1904	J. A. Fleming inventa la válvula de vacío.
1923	George Stibitz construye el <i>Complex Calculator</i> , la primera sumadora de relés. Posteriormente, el <i>Model 3</i> , que resuelve polinomios introducidos con cinta perforada.
1941	Konrad Zuse construye el Z3, la primera calculadora electromecánica de propósito general.
1944	Howard Aiken e I.B.M. desarrollan el Mark-1, la última calculadora electromecánica.
1946	Mauchly y Eckert construyen el ENIAC, el primer ordenador electrónico.
1948	Shockley, Bardeen y Brattain inventan el transistor.
1949	Mauchly y Eckert construyen para la Remington Rand Co. el UNIVAC, el primer ordenador electrónico comercializable. John von Neumann consigue terminar el EDVAC, un ordenador electrónico con programación por cinta perforada.
1964	Aparece el ordenador transistorizado: el modelo 360 de I.B.M.
1981	I.B.M. saca al mercado el IBM/PC (<i>Personal Computer</i>), que inmediatamente se convierte en estándar para los ordenadores personales.

BIBLIOGRAFÍA

Bishop, P., *Estudio general del ordenador*, Madrid, Alhambra, 1985.

Diccionario de los descubrimientos científicos, Barcelona, Plaza y Janés, 1970.

García de Solá, *Estructura de la información*, Madrid, McGraw-Hill, 1990.

Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona. Enciclopedia Salvat de la técnica*, Madrid, Salvat, 1979 (10 vols.).

Especialmente los artículos:

Ábaco (vol. I). *Babbage, Charles; calculadoras, máquinas* (vol. II). *Circuito lógico; circuitos impresos, fabricación de; circuitos integrados* (vol. III). *Diodo; electrónica* (vol. IV). *Memoria, dispositivos de; microprocesadores; Morse, Samuel* (vol. VII). *Ordenador electrónico; perforadora y lectora de cintas* (vol. VIII). *Regla de cálculo; relé; tarjetas perforadas, máquinas de; telar Jacquard* (vol. IX). *Válvula temoiónica* (vol. X).

Gil Orihuel, A. y Rieiro Marín, I., *Historia de la informática*, Madrid, Alhambra, 1986.

Repossi, G., *Historia ilustrada de la informática. Los gigantes invisibles*, Barcelona, Círculo de Lectores, 1981.

Se llama *base* de un sistema de numeración al número total de símbolos que lo forman. V.g., en base 10 tenemos diez símbolos diferentes: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 0; en base 2, 0 y 1. Cfr. García de Solá, *Estructura de la información*, Madrid, McGraw-Hill, 1990, p. 26.

Gil Orihuel, A. y Rieiro Marín, I., *Historia de la informática*, Madrid, Alhambra, 1986, p. 46.

Los mayas tenían un sistema con tres bases combinadas: base 5, 20 y 360, con la que elaboraron un calendario

muy aceptable. Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, p. 52.

El sistema posicional hace derivar el valor de una cifra de la propia cifra y de su posición con respecto de las restantes. Un sistema no posicional es, v.g., el romano, donde cada signo mantiene su valor independientemente de su posición.

Diccionario de los descubrimientos científicos, art. *Matemáticas*, Barcelona, Plaza y Janés, 1970, p. 188.

De ahí su nombre: del griego *abax*, arena.

Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 49–51.

Cfr. Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 53–54, para el funcionamiento de las tablas de Napier.

Las *máquinas analógicas* basan sus procedimientos de cálculo en la consideración de distintas magnitudes físicamente mensurables (longitudes de segmentos, arcos de circunferencias, medidas de resistencias eléctricas, etc...) que representan, por analogía (de ahí su nombre) las cantidades numéricas del cálculo efectuado; así, tienen la restricción de la máxima magnitud medible por el aparato calculador. En cambio las *máquinas digitales* no tienen ninguna restricción, ya que operan directamente con los números en abstracto. *Cfr.* Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, p. 55.

Vid. Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona. Enciclopedia Salvat de la técnica. Vol. IX*, Madrid, Salvat, 1979, pp. 116–119

Leonardo da Vinci (1452–1519) diseñó una, que no se pudo construir por falta de medios técnicos; el astrónomo Wilhelm Schickard construyó otra en 1623, pero se tuvo la primera noticia de ello en 1957. *Cfr.* Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, p. 56.

Vid. Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona. Vol VIII*, p. 125.

Para más detalles *vid.* Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 56–58.

Repossi, G., *Historia ilustrada de la informática. Los gigantes invisibles*, Barcelona, Círculo de Lectores, 1981, p. 140.

Vid. Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona. Vol. II*, pp. 201–202

Vid. Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona. Vol. II*, p. 202. Las máquinas calculadoras de ruedas dentadas se clasifican en dos variantes: de tambor (compuesto por una asociación de ruedas dentadas en paralelo) y de ruedas compuestas (que diferencia los números del 0 al 4 y del 5 al 9). Ambas están basadas en el principio de la *rueda escalonada* de Leibniz, que contempla diferentes longitudes de dientes para diferentes números. Máquina de tambor es la Odhner; de ruedas compuestas, la Monroe.

Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 71–72.

El método de las diferencias permite calcular las soluciones de un polinomio de grado n -ésimo mediante tablas de diferencias sucesivas de valores del polinomio. *Cfr.* un ejemplo en Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, p. 62.

No hay porqué extrañarse: los ordenadores electrónicos no saben más que sumar.

V.g., descomponiendo una función matemática cualquiera en polinomios, cosa que es posible hacer con la precisión que se desee.

Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona*. Vol. IX, pp. 286–288.

Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona*. Vol. IX, pp. 266–267.

Esto no es totalmente cierto. El código Morse para telegrafía usa un código binario, de punto y raya, que desde luego era conocido en época de Hollerith. Pero la innovación consiste en el sistema: la *ausencia de algo* y la *presencia de algo* (donde el *algo* no es ni más ni menos que una corriente eléctrica) son la base del tratamiento de la información hasta el día de hoy.

Cfr. Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 75–76.

Hollerith creó, para comercializar su máquina, la *Tabulating Machines Co.*, que después pasó a ser la *Consulting Tabulating Recording* y luego la *International Business Machines*, I.B.M.. De ésta época, y surgidas al calor de las máquinas tabuladoras, surgen la *National Cash Register* (N.C.R.), la *British Tabulating* (hoy I.C.L.) y la *Compagnie des Machines Bull* (hoy Cii Honeywell Bull); todas ellas verdaderos emporios de la informática en el día de hoy. Cfr. Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 77–79.

Bishop, P., *Estudio general del ordenador*, Madrid, Alhambra, 1985, p. 243.

Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona*. Vol. IX, pp. 127–130.

Para una breve descripción de los circuitos lógicos eléctricos *vid.* Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, *passim*.

Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 73–74.

En 1942, en plena guerra mundial. Cfr. Repossi, G., *op. cit.*, p. 148.

La condesa Ada Lovelace (1815–1852), colaboradora de Babbage, había ideado un lenguaje de programación anterior, diseñado para operar en la futurible *máquina analítica* de Babbage. Cfr. Bishop, P., *op. cit.*, p. 240.

Técnicamente su nombre era *Automatic Sequence Controlled Calculator* o A.S.C.C.. Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, p. 88.

Vid. Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona*. Vol. IV, pp. 91–93 (art. *Diodo*), y Vol. X, pp. 190–193 (art. *Válvula termoiónica*).

Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 96–98.

Gaya, J. (ed.), *Cómo funciona*. Vol. VIII, p. 77; Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 98–99.

Tan grandes que I.B.M. no vendía equipos sino que los alquilaba, pues la mayoría de las empresas no disponían de tanto espacio como para poner un ordenador de la época. Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, p. 119.

Gaya, J., *Cómo funciona*. Vol. IX, pp. 122–128.

La diferencia es notable: la válvula tiene una vida media de 5000 horas; el transistor, de 90.000. Repossi, G., *op. cit.*, p. 157.

Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 120–121.

Gaya, J., *Cómo funciona*. Vol. III, pp. 144–146.

Por el programador anglófono, añadimos nosotros.

Orihuel y Rieiro, *op. cit.*, pp. 122–156. Para dar un ejemplo, este trabajo se ha redactado usando un procesador de texto implementado en un ordenador personal que realiza 60 millones de operaciones por segundo, tiene una memoria de 8 millones de caracteres y almacena 440 millones de datos; en terminología actual, 60 Mhz, 4 Mb. RAM y 440 MB de disco duro.

Como ejemplo he recogido Guzmán, M., Colera, J. y Salvador, A., *Matemáticas. Bachillerato. 1*, Madrid, Anaya, 1990, texto de matemáticas de primer curso de B.U.P., con aprobación del Ministerio de Educación y Ciencia en B.O.E. 31–VII–1987.

Concretamente en Dalmau Carlés, J., *Enciclopedia. Grado medio*, Gerona, Dalmau Carlés Plá, 1950.

Guzmán, Colera y Salvador, *op. cit.*, p. 36.