

# **Del ábaco de fichas a Internet**

**E. Oñate**

# **Del ábaco de fichas a Internet**

**E. Oñate**

**Publicación CIMNE N°-194, Octubre 2000**



# INDICE

1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 LAS PRIMERAS MÁQUINAS DE CALCULAR.....	3
3 ANTEPASADOS RECIENTES DEL ORDENADOR: LA AUTOMATIZACIÓN CODIFICADA DEL CÁLCULO.....	8
4 EL NACIMIENTO DE LOS PRIMEROS GIGANTES INDUSTRIALES DE LA INFORMÁTICA .....	9
5 NOMBRES PROPIOS EN LA HISTORIA DE LOS ORDENADORES .....	12
6 NACIMIENTO DE LOS ORDENADORES ELECTRÓNICOS .....	15
7 ALAN M. TURING: EL IDEÓLOGO DE LOS ORDENADORES .....	16
8 CONSECUENCIAS DEL INFORME DE VON NEUMANN.....	17
9 FORJANDO LA RED.....	21
10 BIBLIOGRAFÍA.....	26



## **1 INTRODUCCIÓN**

Como ha quedado evidenciado a lo largo de la historia, los avances en ciencia y tecnología han ido siempre paralelos al mejor conocimiento del hombre de los fenómenos de la naturaleza y del impacto que sus intervenciones tienen en éstos. La necesidad de «cuantificar» la solución de un problema, bien sea éste el diseño y construcción de un edificio, la predicción de la vida de una célula, o la producción más económica de envases para alimentos, ha sido siempre y, quizás hoy lo es todavía más, ineludible. El aura de los números, que desde el inicio de los tiempos ha fascinado al hombre, ilumina la ciencia e ingeniería modernas a través de los métodos numéricos, que son el motor de gran parte de los desarrollos actuales en todas las disciplinas científico-técnicas.

Los métodos numéricos forman en la actualidad un conjunto indisoluble con las matemáticas, la caracterización de las propiedades físicas del medio donde se resuelve el problema y la informática. Así, hoy en día es impensable abordar el desarrollo de un método original para solución de un nuevo problema en ciencia o ingeniería, sin tener en cuenta todos los ingredientes mencionados. Por ejemplo, cualquier nuevo método numérico tiene que desarrollarse actualmente teniendo en cuenta la plataforma informática en la que se implementará para resolver problemas de gran escala (probablemente en ordenadores trabajando en paralelo). Asimismo, es impensable un programa de ordenador moderno que no pueda incorporar los continuos avances en la modelización de nuevos materiales.

Está universalmente aceptado que el gran desarrollo que todas las áreas científicas y tecnológicas han experimentado en los últimos años con la ayuda de los métodos numéricos, se ha debido, en gran parte, a la disponibilidad masiva de potentes ordenadores. Recordemos que todos los métodos numéricos para solución de ecuaciones diferenciales transforman la solución de un problema continuo en la de otro discreto, cuyo resultado se obtiene resolviendo un sistema de ecuaciones algebraicas con miles (o millones) de incógnitas. Teniendo en cuenta que la solución de un sistema lineal de más de tres ecuaciones con tres incógnitas, supera casi lo admisible para ser resuelto por un alumno en un examen de álgebra, reconoceremos enseguida el papel fundamental que el ordenador ha tenido en el desarrollo de los métodos numéricos y en su utilización para resolver los problemas prácticos más diversos.

En los apartados que siguen se presenta una sucinta reseña de la evolución de las máquinas de calcular, desde el primitivo ábaco hasta los potentes ordenadores digitales actuales. En la parte final del artículo se describe las motivaciones y circunstancias que rodearon el nacimiento de internet, que probablemente se convertirá en breve plazo en una red de cálculo distribuido universal.

## **2 LAS PRIMERAS MÁQUINAS DE CALCULAR**

La historia de los ordenadores tiene sus orígenes en el Renacimiento europeo. En esa época, gracias fundamentalmente a las nuevas necesidades de cálculo derivadas de los avances en astronomía, se evidenciaron las carencias de los ancestrales métodos de cálculo basados en el ábaco de fichas romano. Por otra parte, pese a que desde el

comienzo del siglo XVI las cifras y el cálculo de origen hindú empezaron a imponer su uso en toda Europa occidental, los matemáticos europeos advirtieron las limitaciones de las técnicas de cálculo hindúes para abordar de forma rápida y sin errores los largos y laboriosos cálculos resultantes de las teorías de Copérnico y Kepler. La necesidad de aligerar la pesada carga que imponían estos cálculos fue la motivación que impulsó la fabricación de los primeros instrumentos aritméticos.

Uno de los más pioneros dispositivos materiales destinados a facilitar el cálculo humano fue el inventado en 1617 por Neper, el padre de los logaritmos. Las denominadas *regletas* o *palos* de Neper, fueron concebidas por su autor para realizar multiplicaciones de forma rápida y precisa. Este sistema, mejorado sucesivamente a lo largo de los años por diversos científicos, fue muy popular en Europa hasta inicios del siglo XX.

Curiosamente, la mucho más reciente *regla de cálculo*, sin tener que ver con la mencionada regleta de Neper, está de alguna manera asociada con el nombre de este famoso escocés. Basada en las propiedades de los logaritmos para transformar multiplicaciones y divisiones en sumas y restas, las *reglas de cálculo*, inicialmente de madera y posteriormente de plástico, han sido muy populares en este siglo en las aulas universitarias y en los gabinetes de cálculo de oficinas de ingenieros, hasta que fueron sustituidas por las calculadoras electrónicas de bolsillo en los inicios de los años 70.

No obstante, ni las regletas de Neper y sus sucesoras, ni la misma regla de cálculo han sido auténticas máquinas de calcular, al necesitar todas una constante intervención del operador humano. De hecho, la primera calculadora semi-automática de tipo mecánico fue, quizás, el denominado *reloj de cálculo*, fabricado en 1623 por el astrónomo alemán Wilhelm Schikard (1592-1635). Dicha máquina, basada en algunas ideas de las regletas de Neper, era capaz de ejecutar las cuatro operaciones básicas mediante procedimientos mecánicos. Lamentablemente, el único modelo del reloj de cálculo fue destruido por un incendio al año siguiente de su fabricación.

Es interesante reflexionar por qué si los rudimentos mecánicos necesarios para elaborar máquinas de calcular, tales como tornillos sin fin, engranajes y ruedas dentadas, eran conocidas desde la antigüedad, hubo que esperar hasta el siglo XVII para que apareciera la primera calculadora mecánica.

Las razones, como bien menciona Georges Ifrah en su libro *Historia universal de las cifras*, han sido de diversa índole. La primera y fundamental, es que sólo desde que el cero y la numeración de posición de origen hindú fueron conocidos por los europeos pudo plantearse el problema de la mecanización del cálculo en Europa. Indudablemente, ni el sistema de numeración griego ni el romano se adecúan a los requisitos de una calculadora mecánica.

Otra de las causas que contribuyeron al retraso mencionado fue la resistencia que desde los estamentos más radicales de la Iglesia se hizo, durante la Edad Media y buena parte del Renacimiento, para rechazar cualquier desarrollo supuestamente contrario a los dogmas cristianos. Así, hasta bien entrado el siglo XVII, (recordemos que Galileo fue juzgado en 1633), el clima de una época cargada de supersticiones era sumamente

contrario a la mecanización del arte del cálculo, por considerarlo una actividad sólo dependiente del espíritu y por lo tanto bajo los designios de la esencia divina. Por absurdo que hoy en día nos parezca, el propio Galileo, en su libro *Le meccaniche*, tuvo que defender que «el empleo de las máquinas no es una acción contra la naturaleza, y que su fabricación debe estar tolerada por las leyes divinas».

Otra razón que explica el bloqueo del desarrollo de la mecanización del cálculo, fue el hecho de que la construcción de una máquina de calcular sólo podía confiarse a un relojero hábil, experto en todas las piezas y engranajes utilizados en la mecánica de precisión. La carencia de estos artesanos en los países árabes contribuyó a que, pese a sus excelentes conocimientos aritméticos, el avance en el progreso del cálculo mecanizado se detuviera en las tierras del Islam.

Paradójicamente, pese a que Europa contaba con excelentes relojeros desde el inicio del Renacimiento, el gran espíritu corporativista de la época, contrario a que los especialistas de una profesión realizaran trabajos fuera de lo que se entendía que eran sus competencias profesionales, bloqueó muchas iniciativas para involucrar a los maestros relojeros en proyectos de construcción de calculadoras mecánicas, y que naturalmente fracasaron.

Sólo cuando aumentó la demanda social, promovida por la urgencia de cálculos de más envergadura y más rápidos, derivados de las necesidades que imponían los avances en astronomía, en las transacciones comerciales y en las matemáticas en general, se creó un estado de opinión favorable a reducir al mínimo la intervención humana con la ayuda de medios mecánicos. Así pues, existiendo la tecnología básica (conocimientos de mecánica teórica, tecnología de alta precisión y relojeros hábiles) y la demanda suficiente, el terreno estaba abonado para que florecieran las primeras calculadoras mecánicas de uso masivo.

Después del desafortunado *reloj de cálculo* de Schickard, las primeras máquinas de calcular basadas en principios mecánicos que gozaron de popularidad fueron curiosamente construidas por dos grandes matemáticos: Pascal y Leibniz. Otra evidencia del carácter práctico que impregnó a muchos de los grandes sabios de la matemática en los siglos XVII y XVIII. La máquina de Pascal, denominada *Pascalina*, fue mostrada al público por primera vez en 1642, cuando Pascal tenía sólo diecinueve años de edad. Al parecer, el objetivo de Pascal era simplificar los interminables cálculos administrativos realizados por su padre mediante el tradicional y limitado ábaco. La *Pascalina* permitía realizar las cuatro operaciones básicas por medio de un dispositivo mecánico compuesto de ruedas dentadas numeradas de 0 a 9 y unidas de tal forma que la rotación completa de una de ellas hacía adelantar un paso a la siguiente. Pese a que llegó a ser comercializada, la utilización de la Pascalina era laboriosa y exigía un considerable esfuerzo por parte del operador.

Leibniz construyó su calculadora en 1694, aunque la había concebido veinte años antes. A pesar de que resolvió la mayor parte de los problemas técnicos de la *Pascalina*, incorporando un *inscriptor* que permitía escribir un número antes de sumarlo, un *visor de exposición*, un *arrastrador*, un *carro móvil* y un *sistema de tambores con dientes de longitudes crecientes*, la máquina de calcular de Leibniz nunca fue comercializada,



aunque se construyó un segundo ejemplar en 1704. La razón fundamental del fracaso industrial de estas máquinas, se debió a la dificultad del proceso de fabricación que exigía una precisión tal que la mecánica relojera de la época no fue capaz de aportar.

Más de un siglo después, la máquina de calcular de Leibniz fue perfeccionada por el ingeniero e industrial francés Charles-Xavier Thomas de Colmar. Este director de una compañía de seguros establecida en París, construyó en 1822 una calculadora que denominó *aritmómetro*. Esta máquina, perfeccionada sucesivamente a lo largo de las dos décadas siguientes, introdujo avances en el sistema de tambores, incorporó un *borrador* que permitía poner a cero todas las ruedas del conjunto de engranajes, un *bloqueador* que inmovilizaba las diversas piezas del mecanismo al alcanzar un tope, un sistema de *transporte automático*, etc. El *aritmómetro* de Thomas fue comercializado en todo el mundo, lo que marcó una etapa decisiva en la evolución del cálculo mecánico. Su éxito fue tan grande que inspiró a numerosos inventores y empresarios europeos y americanos que lo comercializaron por su cuenta en su forma original ligeramente modificada con nombres diferentes y curiosos, tales como *Saxonia*, *Arquímedes*, *Unitas*, *TIM* (Time is Money), etc.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX aparecieron en el mercado dos calculadoras que compitieron con el aritmómetro. La primera fue inventada y construida en 1875 por el americano Frank S. Baldwin, el más genuino pionero de la industria de las máquinas de calcular en Estados Unidos. La segunda, en 1878, fue concebida desde San Petersburgo por el ingeniero e industrial sueco Willgott T. Odhner. Esta última máquina fue mundialmente conocida hasta mediados del siglo XX, ya que se comercializó a gran escala por varias empresa europeas con distintos nombres (*Original-Odhner*, *Brunsvisa*, *Triumphator*, *Marchant*, *Rapide*, *Dacttyle*, *Britannic*, *Arrow*, *Eclair*, *Vancanson*, etc.)

Pese a sus innegables ventajas, la prestación de las calculadoras mencionadas fue inicialmente bastante mediocre, debido fundamentalmente al método para introducir los datos, pues exigía mucha atención y esfuerzo por parte del usuario. Esta dificultad se solventó en gran parte gracias a la incorporación del *teclado numérico*, desarrollado hacia la segunda mitad del siglo XIX en el contexto de las máquinas de escribir. La subsiguiente mejora del *dispositivo de impresión* acabó de consolidar la producción masiva de máquinas de escribir, sumadoras de teclas y calculadoras mecánicas en Europa, y sobre todo en Estados Unidos. Una de las iniciativas de más éxito en este campo fue la del americano William S. Burroughs (??) quien inventó y perfeccionó entre 1885 y 1893 la *Adding and Listing Machine*, la primera calculadora mecánica de teclas provista de un mecanismo de impresión, y que era práctica, fiable y robusta, además de adaptarse perfectamente a las necesidades de la banca y el comercio de la época. Esta máquina tuvo un gran éxito en todo el mundo hasta los inicios de la Primer Guerra Mundial. Por otra parte, la empresa fundada por Burroughs jugó también un papel fundamental en la creación de uno de los grupos informáticos más potentes en Europa, como veremos más tarde.

Las calculadoras de teclas que permitían ciertos controles favorecieron también el desarrollo de las cajas registradoras, que enseguida fueron utilizadas para realizar la contabilidad en los comercios. Un ejemplo del espíritu emprendedor de la época en este

campo es el del americano John Patterson, quien proveniente del medio rural y desengañado con las dificultades que imponía el control de la venta de los productos agrícolas de su padre, se propuso simplificar el proceso. Este propósito se convirtió en necesidad cuando, hacia 1870, John y su hermano Frank montaron un próspero comercio de carbón. El control de los múltiples recibos se hizo insostenible de manera que, advertido de la aparición de las primeras cajas registradoras, encargó dos para su propia empresa. Los beneficios que le reportaron la mejora de la contabilidad en su empresa fueron tales que, Patterson, convencido de que había detectado una gran innovación, invirtió toda su energía y capital para lanzarse a la fabricación masiva de cajas registradoras. Así fue como fundó la National Cash Register, una compañía que es hoy más conocida como NCR Corporation.

Tanto las máquinas de escribir, como las calculadoras mecánicas, cajas registradoras y las máquinas contables en general se beneficiaron enormemente de la aparición de la electricidad y las consiguientes primeras electrificaciones de aparatos mecánicos. El inventor americano Thomas A. Edison (1847-1931) fue uno de los primeros en desarrollar un aparato electro-mecánico al electrificar en 1880 la máquina de escribir de su secretaria, asegurando el arrastre del carro por medio de un electroimán. Esta invención pionera no tuvo mayor trascendencia comercial, pues las primeras máquinas de escribir eléctricas no fueron comercializadas hasta 1920. No obstante, abrió el camino hacia la electrificación de las calculadoras mecánicas derivadas del aritmómetro de Thomas y de la máquina de Odhner, e incluso motorizando las cajas registradoras de la National Cash Register y otras.

Pese al éxito de las calculadoras mecánicas o electromecánicas en el mundo contable y financiero, ninguna de ellas fue capaz de ejecutar cálculos matemáticos más complejos, tales como la búsqueda de las raíces de un polinomio, la resolución de una ecuación o de un sistema de ecuaciones algebraicas, el cálculo de un determinante o de una integral, la obtención de las soluciones de ecuaciones diferenciales o en derivadas parciales, etc. Liberar al hombre de esos complejos cálculos ha sido la obsesión de muchos desde incluso la época renacentista, que impulsó la expansión y aplicaciones prácticas del álgebra y el análisis matemático en Europa. Aún así, sólo hasta una época relativamente reciente comenzaron a aparecer soluciones significativas para dichos problemas.

Las investigaciones de los científicos para concebir calculadoras capaces de realizar operaciones matemáticas encadenadas condujeron al desarrollo el siglo pasado de dos familias de máquinas radicalmente opuestas: las *calculadoras analógicas* y las *calculadoras numéricas*, también denominadas *digitales*.

Las calculadoras analógicas tratan de resolver un problema matemático concreto utilizando su analogía con un fenómeno físico variable y continuo. Así, la máquina analógica realiza operaciones cuya práctica se efectúa a través de una magnitud física concreta (por ejemplo: una determinada longitud en una regleta, la rotación de una rueda, la diferencia de potencial en un circuito eléctrico, etc.). El resultado del cálculo viene dado por la propia medida de esa magnitud, al término de su movimiento en el seno de la máquina.

El padre del cálculo analógico moderno fue el físico inglés William Thompson, más conocido con el nombre de Lord Kelvin (1824-1907), quien propuso un método analógico de resolución de ecuaciones diferenciales con coeficientes variables por medios totalmente mecánicos mediante la combinación de integradores de ruleta que representaban las magnitudes por desplazamientos angulares de árboles rotatorios. Desgraciadamente, el *Integrador* de Lord Kelvin nunca llegó a fabricarse por falta de la tecnología adecuada en la época.

Las ideas de Lord Kelvin cristalizaron por fin en Estados Unidos, cuando en 1931 se construyó en el Massachusetts Institute of Technology de Cambridge (MIT) un *Analizador Diferencial*, capaz de resolver de forma analógica las ecuaciones diferenciales de hasta dieciocho variables que aparecen en el estudio de sobrecargas y cortes en redes eléctricas. El segundo *Analizador Diferencial* del MIT se construyó en 1942 y se utilizó en gran secreto durante la Segunda Guerra Mundial para la integración de las ecuaciones balísticas en problemas de tiro y para el análisis de sistemas de radar.

Desde entonces se fabricaron diferentes calculadoras analógicas cada vez más perfeccionadas de uso en numerosos campos, tales como el mecánico y térmico (estudio de movimientos y suspensión); electrónico y electrotécnico (máquinas de revolución en redes y circuitos); aplicaciones militares (sistemas de tiro, de bombardeo, etc.); aeronáutico y aeroespacial (simulación de vuelos, pilotaje automático de aviones y vehículos espaciales); química y petróleo (dinámica y regulación óptima de procesos), etc.

A pesar de sus muchas ventajas para resolver problemas concretos en un tiempo muy corto, las calculadoras analógicas han sido hoy en día sustituidas por los modernos ordenadores basados en la tecnología de circuitos integrados de alta densidad. La razón fundamental de su extinción no ha sido sólo la mayor velocidad de los ordenadores electrónicos actuales, sino más bien la mayor *universalidad* de estos últimos, frente a las limitaciones conceptuales de las máquinas analógicas, incapaces de ser lo suficientemente generales como para permitir resolver cualquier clase de problemas.

### **3 ANTEPASADOS RECIENTES DEL ORDENADOR: LA AUTOMATIZACIÓN CODIFICADA DEL CÁLCULO**

Las limitaciones de las calculadoras clásicas evidenciaron la necesidad de disponer de máquinas que permitieran automatizar cálculos matemáticos encadenados. Es decir, máquinas capaces de ejecutar ellas solas y sin intervención humana alguna, secuencias de operaciones encadenadas según un proceso fijado de antemano.

Muchos consideran al ordenador actual como un refinamiento de los denominados *autómatas artificiales*, o sistemas físicos contruidos por el hombre y dotados de la capacidad de moverse solos. Estos dispositivos, desarrollados desde la Antigüedad por los chinos y los mecánicos griegos de Alejandría, tuvieron relación con estatuas animadas de dioses. Esta tradición griega se transmitió a Europa occidental durante la Edad Media y el Renacimiento de mano de los mecánicos árabe-persas, a través de España y de Sicilia. Entre los numerosos autómatas contruidos durante la época

medieval destacan los carillones automáticos y los relojes astronómicos colocados en abadías de ciudades europeas importantes.

El gran desarrollo de la mecánica relojera y las técnicas de alta precisión en Europa en el siglo XVIII condujo a la construcción de autómatas mucho más elaborados, de apariencia humana o animal, que simulaban diversas situaciones, tales como un pato comiendo, un flautista, un tocador de pandereta, un músico, un dibujante, etc.

La revolución en el campo de los autómatas fue la creación de una máquina en la cual las órdenes respondieran a las reglas de un código muy preciso, siguiendo un medio de comunicación previamente establecido entre el hombre y la máquina. Esto se logró mediante la introducción de un dispositivo de mando modificable regido por una secuencia de instrucciones inscritas en un soporte flexible, independiente de la estructura de los mecanismos internos. Curiosamente, las primeras soluciones a este problema fueron encontradas por unos maestros tejedores franceses hacia finales del siglo XVIII. Así, en 1725, el tejedor lionés Basile Bouchon inventó un telar que recibía sus instrucciones por medio de una cinta de papel perforado. El sistema fue perfeccionado en 1728 por el taller de Bouchon utilizando la idea de sustituir la frágil banda de papel por tarjetas perforadas ligadas entre sí, en una especie de cadena sin fin que recargaba un operario. Había nacido la era de la comunicación entre el hombre y la máquina.

La automatización total del proceso la llevó a cabo en 1749 Jacques de Vaucanson, inventor de numerosos autómatas, tales como el *Pato Digeridor*, el *Flautista* y el *Tocador de Pandereta*. Vaucanson sustituyó las tarjetas perforadas de Bouchon por un cilindro perforado accionado por un sistema hidráulico. El telar de Vaucanson se convirtió así en un autómata cíclico en el cual las instrucciones se repetían con el giro del cilindro.

Tuvieron que pasar casi sesenta años hasta que a comienzos del siglo XIX, Joseph-Marie Jacquard, basándose en las ideas de Bouchon y Vaucanson, perfeccionó la técnica de los telares logrando construir en 1804 el primer telar enteramente automático accionado por un sistema de tarjetas perforadas. En dicho telar, las secuencias de operaciones necesarias para tejer los motivos de un cierto tejido se regulaban por medio de un lenguaje codificado por medio de agujeros practicados en tarjetas de cartón, sucediéndose las propias tarjetas perforadas en una cadena sin fin. El sistema Jacquard, que ha tenido un gran éxito en todo el mundo, constituye así el nacimiento del primer autómata secuencial programable y no cíclico. Este descubrimiento capital fue perfeccionado y generalizado en años sucesivos gracias al desarrollo de la electrónica, la lógica simbólica y las matemáticas contemporáneas.

#### **4 EL NACIMIENTO DE LOS PRIMEROS GIGANTES INDUSTRIALES DE LA INFORMÁTICA**

Una de las primeras utilidades prácticas del sistema de tarjetas perforadas fue llevada a cabo en Estados Unidos a finales del siglo pasado. En esa época, esta nación

se estaba convirtiendo en una gran potencia industrial gracias a sus enormes recursos naturales, a su población emprendedora y a una capacidad de innovación notable.

Ese propio éxito contribuyó a un gran incremento de la población, debido a la conjunción de una inmigración masiva y de una natalidad elevada. Así, desde 1790 a 1880, la población en Estados Unidos aumentó de unos cuatro millones de habitantes a más de cincuenta. Este incremento supuso un verdadero quebradero de cabeza para la oficina del censo, que incluía en sus cuestionarios numerosas preguntas cuya respuesta se intentaba tomar como guía para adoptar decisiones legislativas. Un ejemplo: el recuento del censo en 1880 llevó más de tres años. Siendo, pues, indispensable un cambio de método radical con objeto de resolver este problema, en 1889 la Oficina Americana del Censo organizó un concurso para encontrar un sistema estadístico automático, preciso, fiable y rápido para el censo de 1890.

El galardonado fue el joven ingeniero Hermann Hollerith (1869-1929), quien había inventado en 1884 una máquina estadística capaz de contar eléctricamente las unidades, gracias a un sistema de perforaciones con tarjetas de cartón, similares a las de la máquina de Jacquard, donde el paso de la corriente a través de cada perforación hacía avanzar gradualmente la aguja de un contador. La máquina de Hollerith fue el auténtico antepasado de las máquinas mecanográficas denominadas *tabuladoras*, porque permitían presentar los resultados en forma de tablas. Esta máquina, aunque rudimentaria, tuvo un gran éxito ya que necesitaba menos de la mitad del tiempo requerido por todos los sistemas rivales de la época para el recuento del censo. Por ello se utilizó no solamente para los censos de 1890 y 1900, sino también, con distintas mejoras, a partir de 1891, en la contabilidad de la Central Railroad, compañía de ferrocarriles de New York, así como en varias compañías de seguros.

En 1896, Hollerith dejó la Administración americana para fundar su propia sociedad en Washington DC: la Tabulating Machine Company. El éxito de esta compañía hizo que sus máquinas fueran pronto conocidas en todo el mundo.

En 1911, la mencionada sociedad se fusionó con la Computing Scale Co, especializada en la producción de básculas automáticas, dando origen a la Computing Tabulating Recording Co (CTR), cuyo producto más relevante fue una impresora de cremalleras fabricada en 1914. En 1913 fue contratado Thomas Watson (1874-1956), antes empleado en la NCR y que, después de haber sido director general de la CTR a partir de 1914, se convirtió en su presidente en 1924. A partir de ese año rebautizó la CTR con el nombre de International Business Machine Corporation, más conocida con las siglas de IBM.

Por su lado, el US Census Bureau, que había utilizado las máquinas de Hollerith desde 1890, decidió en 1905 mandar construir un equipamiento a medida para el censo siguiente y designó al ingeniero James Legrand Powers (1870-1915) para esta tarea. Powers logró mejorar la eficacia y fiabilidad del sistema eléctrico de tarjetas propuesto por Hollerith, sustituyéndolo por un lector mecánico de tarjetas acoplado a una perforadora eléctrica. El éxito de su invención le incentivó, como a Hollerith, a dejar la administración y fundar en 1911 su propia empresa, la Accounting and Tabulating Machines Co (ATM), que instaló fábricas en América y luego en Inglaterra y Francia,

compitiendo directamente con la empresa de Hollerith. Entre sus innovaciones destaca el sistema de impresión alfanumérico.

En 1927, las patentes Powers se traspasaron a la Remington Rand Inc., empresa dirigida por James H. Rand (1886-1968), que resultó de la fusión de la ATM de Powers con diversas empresas relacionadas con la fabricación de máquinas de escribir, sumadoras de teclas y sistemas de clasificación. En 1950, la Remington Rand Inc. adquirió la EMC (Eckert-Mauchly Computer Corporation), fundada en 1948 por John P. Eckert y John W. Mauchly -inventores de la calculadora analítica electrónica denominada ENIAC de la que hablaremos enseguida-, a la que se rebautizó con el nombre de UNIVAC Division. En 1955, la Remington Rand Inc. se fusionó con la Sperry Gyroscope Co., lo que pasó a constituir la Sperry-Rand Corporation, y más tarde simplemente la Sperry Corporation. Por fin, en 1997, esta organización se unió con la Burroughs Corporation fundada en 1886 en San Louis, Missouri, por William S. Burroughs, el inventor de la primera sumadora-impresora comercial de teclas, para después de sucesivos cambios de nombres, convertirse en 1952 en la Burroughs Corporation.

Y así es como nació, finalmente, el grupo que, tras más recientes peripecias, es conocido hoy en día con el nombre de Unysis.

La historia de Powers tiene ramificaciones en Europa, donde con sus patentes se creó la empresa Samas-Powers. En 1959 esta compañía se fusionó con la compañía inglesa BTM que explotaba patentes de IBM, para dar lugar, tras algunos cambios posteriores, incluyendo la compra de parte de la firma inglesa Ferranti, al grupo informático británico conocido actualmente con el nombre de ICL (International Computer Limited).

Del mundo de la industria mecanográfica surgió otra iniciativa de gran relevancia. Así, deseando responder a las necesidades de la compañía de seguros en la que trabajaba, el ingeniero noruego Fredrick Rosing Bull (1882-1925), inventó y construyó en 1921 una máquina estadística electromecánica con selector de tarjetas, que fue comercializada principalmente en los países nórdicos. A la muerte de Bull, sus patentes fueron compradas por la sociedad suiza Egli, especializada en la producción y comercialización de calculadoras. Ésta emprendió enseguida la producción de máquinas mecanográficas de tarjetas perforadas. A partir de los años 1930, la empresa pasó a tener control francés, pasando a denominarse Compagnie des Machines Bull. Tras sucesivas uniones y desuniones con compañías americanas, como la General Electric y Horeywell, la empresa depositaria de las ideas del genial ingeniero noruego pasó a denominarse grupo Bull, nombre que aún ostenta.

Pero dejemos en este punto la historia de las potentes compañías industriales, para hablar de alguno de los grandes hombres que con sus ideas e inventos han sido los auténticos pioneros en la evolución de los ordenadores actuales.

## 5 NOMBRES PROPIOS EN LA HISTORIA DE LOS ORDENADORES

La obra del matemático inglés Charles Babbage (1791-1871), uno de los fundadores de la *Analytical Society*, que contribuyó a cerrar el debate entre las escuelas de Newton y Leibniz, significó un antes y un después en el desarrollo del ordenador moderno. Entre 1822 y 1833, Babbage estuvo enfrascado en la construcción de una *máquina de diferencias* que permitiera el cálculo de los valores de un polinomio de grado  $n$  iterativamente tomando como base a un número de adiciones sucesivas. Lamentablemente, este proyecto de Babbage no llegó a buen puerto, si bien otros inventores llevaron posteriormente la idea de dicha máquina de diferencias a la práctica. Una de las razones del fracaso de Babbage, además de su espíritu perfeccionista, fue su dedicación al proyecto más ambicioso de construir una calculadora mecánica mucho más potente, a la que denominó *Máquina Analítica*. El impacto que la idea de dicha máquina supuso para los coetáneos y sucesores más inmediatos de Babbage queda evidenciado en las palabras de Maurice d'Ocagne recogidas en 1905:

«Con la máquina de Babbage parece que entramos en el dominio de la magia. En el pensamiento de su inventor estaba destinada a efectuar cualquier secuencia de operaciones aritméticas sobre no importa qué números, en cantidad tan grande como se imagine, y a proporcionar el resultado impreso con la indicación, por medio de signos y álgebra, de toda la serie de operaciones efectuadas».

El mismo Babbage expresó su asombro delante de sus propios descubrimientos y en 1835 escribía a un amigo: «Hace seis meses que estoy trabajando en los planos de una calculadora más potente que mi primera máquina de diferencias. Yo mismo estoy sorprendido del poder que es posible conferir a este nuevo mecanismo. Hace apenas un año, no podría haber imaginado tal resultado».

La idea de la *Máquina Analítica* de Babbage puede ser considerada la auténtica precursora de los ordenadores actuales. Estaba previsto que tuviera un dispositivo de entrada/salida capaz de leer tarjetas perforadas, una unidad de control, un sistema de almacenamiento de números, que permitía conservar resultados intermedios o finales en la «memoria» de la máquina, una unidad aritmética donde se ejecutaban los cálculos deseados y, por último, un mecanismo de impresión de los resultados.

La máquina de Babbage estaba también dotada de la posibilidad de recurrir a una corta secuencia de instrucciones auxiliares, que podía ejecutar antes de volver al programa principal, un claro antecedente de lo que hoy se denomina *subrutinas*.

Es curioso recordar que uno de los colaboradores más estrechos en el desarrollo de la *Máquina Analítica* fue la matemática Ada Augusta Byron, condesa de Lovelace (1815-1852) e hija única de Lord Byron. Lady Lovelace supo transmitir el espíritu poético de su padre a muchos de los textos técnicos: «Podemos decir», explicaba en una traducción que hizo al francés de la descripción de la máquina por encargo de la Academia de Ciencias de París en 1844, «que la *Máquina Analítica* tejerá motivos algebraicos, exactamente como los telares Jacquard tejen flores y hojas».

Al no necesitar intervención humana alguna en el desarrollo de las secuencias de operaciones, la máquina de Babbage constituyó la síntesis del concepto de calculadora numérica automática y secuencial. Además, Babbage definió también por vez primera la auténtica precursora de las *calculadoras analíticas multifunción*, capaz de tratar una amplia categoría de problemas haciendo uso de métodos numéricos.

Enlazando con la idea de los autómatas puede decirse también que la idea de la máquina de Babbage fue la del primer autómata no cíclico regido por un sistema flexible de programación y provisto de un mando modificable, independientemente de la estructura de los dispositivos internos de la máquina.

Desgraciadamente, la muerte sorprendió a Babbage cuando apenas había comenzado el montaje de las piezas de su máquina. Posteriormente, pese a los esfuerzos de su hijo, fue imposible concluir la construcción por estimarse su costo demasiado elevado. Actualmente, los planos de la *Máquina Analítica* de Babbage, y un modelo de la misma construido en 1991, con motivo del bicentenario del nacimiento de su autor, se encuentran expuestos en el Science Museum de Londres.

La obra de Babbage tuvo diversos continuadores. Casi cuarenta años después de su muerte, el dublinés Percy E. Ludgate (1833-1922) redactó en 1909 un informe de catorce páginas exponiendo diferentes ideas que mejoraban muchos aspectos de la *Máquina Analítica*, tales como la sustitución de las tarjetas perforadas por un único rollo de papel perforado; el equipamiento con dos teclados numéricos de diez teclas; la especialización y simplificación de las operaciones auxiliares por medio de reglas y tablas de tipo logarítmico, etc. Desgraciadamente, todas estas excelentes ideas quedaron sobre el papel y, de haberse podido plasmar en una construcción concreta, probablemente hubieran acelerado el desarrollo de los ordenadores modernos.

Otro insigne continuador de la obra de Babbage fue el ingeniero de caminos, canales y puertos español Leonardo Torres Quevedo (1852-1936), quien mejoró los procedimientos mecánicos de Babbage, introduciendo las ventajas de la electricidad, especialmente de los electroimanes. De esta manera llegó a construir un prototipo de una calculadora analítica electromecánica que expuso en París en 1914. No obstante, pese a las muchas innovaciones introducidas por Torres Quevedo, la construcción de dicha calculadora no pudo completarse en esa época de graves conflictos en Europa.

Hubo que esperar hasta la Segunda Guerra Mundial para que la necesidad de disponer de potentes ordenadores fuera acuciante. En ese momento, habiéndose ya producido un avance considerable en la tecnología, así como en conceptos teóricos de lógica simbólica y matemáticas, pudo definitivamente hacerse realidad el sueño de Babbage.

En el período entre las dos guerras mundiales hubo un gran número de investigadores europeos que, partiendo directa o indirectamente de los trabajos de Babbage, intentaron diseñar y construir una calculadora analítica. Uno de los más significativos fue el francés Louis Couffignal (1902-1966), quien materializó las ideas de su tesis doctoral y presentó en 1938 los planos de construcción de una calculadora analítica basada en técnicas electromecánicas y fundamentada en una base binaria.



Lamentablemente, esta otra buena idea se vio truncada de nuevo indefinidamente, esta vez por la ocupación alemana de Francia durante la Segunda Guerra Mundial.

Por el lado alemán, el ingeniero Konrad Zuse (1910-??) dedicó gran esfuerzo entre 1936 y 1939 a diseñar y construir dos prototipos de calculadoras analíticas binarias basadas en medios mecánicos y destinados a resolver ecuaciones algebraicas. No habiendo prosperado su idea del estado experimental, construyó en 1941 y 1943 dos calculadoras más perfeccionadas basadas en principios electromecánicos y de uso mucho más general. Desafortunadamente, la guerra impidió que estas iniciativas fueran conocidas fuera de la Alemania nazi, e incluso las tres primeras fueran destruidas por bombardeos aliados.

Hay que agradecer, en parte, que el entorno de Hitler no valorara los trabajos de Zuse, al que mantuvo explícitamente relegado. Ciertamente, con la ayuda de las máquinas de Zuse, convenientemente mejoradas, el potencial tecnológico y por lo tanto militar del III Reich se hubiera incrementado considerablemente.

El propio Zuse no se desanimó totalmente por todos sus infortunios y con un genuino espíritu emprendedor germánico creó a finales de los años 1940 su propia empresa de producción de ordenadores electrónicos, la Zuse Kg, que lamentablemente no tuvo un gran éxito.

En Estados Unidos surgieron diversas iniciativas con similares objetivos. La más relevante es quizás la de un empleado de la Bell Telephone (Bell Labs) en el estado de Nueva Jersey, el físico e ingeniero George Robert Stibitz (1904-??). La motivación de Stibitz fue realmente mejorar las limitadas prestaciones de cálculo del contador de apuestas eléctrico que comercializaba una empresa rival para registrar apuestas en carreras de caballos. Así, Stibitz con ayuda de redes telefónicas construyó en 1937 los primeros circuitos binarios inspirados en el álgebra de Boole (0 = cerrado, 1 = abierto) que permitían realizar numerosas operaciones aritméticas. Como relata R. Morean, «Stibitz construyó su calculadora en casa, durante un fin de semana de verano, utilizando algunas redes de desperdicio, dos bombillas y trozos de bote de tabaco. Las redes estaban cableadas de manera que las dos bombillas se encendían para indicar que la suma era un 1, y quedaban apagadas si la suma era cero».

La irrupción de la Segunda Guerra Mundial introdujo nuevas y urgentes necesidades: descifrar los mensajes secretos del enemigo y codificar crípticamente los propios; obtener mayor precisión en los cálculos para aumentar la puntería de los cañones; resolver numéricamente nuevos problemas complejos relacionados con el radar, la resistencia de las estructuras, la aerodinámica de los aviones, etc.

Con el fin de contribuir a resolver estos problemas, los Bell Labs construyeron, a partir de las ideas de Stibitz, diferentes calculadoras, todas ellas de alcance limitado pues no podían ejecutar más que una sola categoría de operaciones, tal como el cálculo de expresiones polinómicas. De hecho, la primera calculadora multifunción de esta empresa fue el *Bell Labs Relay Computer Model V*. Fabricada en 1946, utilizaba cerca de nueve mil relés, pesaba alrededor de diez toneladas y ocupaba una superficie de

ciento cinco metros cuadrados. La adición de dos números de siete cifras duraba 0.3 segundos, su multiplicación, un segundo y su división, 2,2 segundos.

La cuestión de la *universalidad calculatoria*, esto es, la aspiración de Babbage de construir *calculadoras analíticas multifunción* capaces de resolver una amplia categoría de problemas fue, de hecho, el objetivo de la práctica totalidad de los investigadores en este campo durante el período entre guerras.

Uno de los que tuvieron más éxito en este reto fue el también americano Howard Hathaway Aiken (1900-1937), profesor de física en la Universidad de Harvard, quien en 1937, superado por la complejidad de los cálculos que pretendía realizar, emprendió el proyecto de construir una máquina capaz de efectuar automáticamente secuencias de operaciones encadenadas relativas a problemas matemáticos de cualquier tipo.

Aiken consiguió el apoyo de Thomas Watson, presidente de IBM, quien además de financiar el proyecto puso toda la experiencia de su compañía a su servicio. Tras largo esfuerzo, utilizando ideas de la tecnología de tarjetas perforadas de la mecanografía contable y, sobre todo, partiendo de los conceptos básicos expresados años atrás por Babbage, en enero de 1943 el sueño de este pionero inglés se hizo realidad, cuando en los laboratorios de IBM en Endicott se construyó la máquina electromecánica denominada *IBM ASCC (IBM Automatic Sequence Con-trolled Calculator)*, más conocida con el nombre de Harward Mark I, la primer Calculadora analítica multifunción operacional de la historia.

Desde su puesta en funcionamiento práctico en mayo de 1944, (antes había sido desmontada y transportada a Cambridge para su montaje definitivo), la *Harward Mark I* fue empleada para resolver problemas balísticos de la Marina de Estados Unidos. Finalizada la guerra, fue utilizada para la solución de todo tipo de problemas hasta el fin de su vida operativa en 1950. Esta máquina tuvo sus secuelas, conocidas con el nombre de *Mark II*, *Mark III* y *Mark IV*, construidas por el laboratorio que creó Aiken y que dieron servicio a diferentes departamentos del Ministerio de Defensa americano y a otros organismos. Tanto la Mark III como la Mark IV abandonaron la electromecánica por la electrónica, tecnología que significó una nueva revolución en el desarrollo de los ordenadores.

## 6 NACIMIENTO DE LOS ORDENADORES ELECTRÓNICOS

La tecnología electrónica comienza su gran desarrollo cuando el inventor americano Thomas A. Edison (1847-1931) descubrió en 1883 que en el interior de un tubo vacío la corriente podía pasar de un electrodo caliente a otro frío, y que al lanzar una corriente por un filamento metálico, éste, por calentamiento, expulsa electrones libres. El siguiente avance lo protagonizó el físico inglés John A. Fleming (1849-1945), quien, siguiendo con las ideas de Edison, colocó dentro del tubo vacío una placa metálica electrizada positivamente, observando que los electrones libres expulsados por el filamento metálico calentado se precipitaban sobre la placa generando una corriente eléctrica. Había nacido el *diodo*, al que poco después siguió el *triодо*, el desarrollo de los tubos electrónicos, los receptores de radiodifusión y el progreso general de la industria electrónica.

De esta forma pronto se advirtió que, en lugar de emplear redes electromagnéticas en las calculadoras, era posible efectuar cálculos aritméticos por medio de tubos de vacío electrónicos, codificando adecuadamente, mediante técnicas de cálculo binario, la información que proporcionaba la conmutación de las señales eléctricas. Este descubrimiento permitió desarrollar las calculadoras binarias electrónicas.

Las primeras máquinas de este tipo se construyeron en Inglaterra al final de la Segunda Guerra Mundial. Denominadas *Colossus*, estas calculadoras se dedicaban exclusivamente a descodificación de textos y descifrar las claves de los códigos de los sistemas de cifrado alemanes.

Tras los primeros balbuceos en el campo del cálculo electrónico, el paso de gigante lo dieron los físicos americanos John Presper Eckert (1919-??) y John William Mauchly (1907-1980), quienes entre 1943 y 1945 concibieron y construyeron en la Moore School of Electrical Engineering de la Universidad de Pensilvania su *Electronic Numerical Integrator and Computer*, más conocido como ENIAC, la primera calculadora analítica multifunción electrónica de la historia. Esta máquina operaba unas mil veces más deprisa que la *Harward Mark I*, de ahí su eslogan: «el ENIAC es capaz de calcular la trayectoria de un obús de gran cañón de marina en menos tiempo del que necesita el obús para alcanzar su objetivo».

Sin embargo, ni el *Harward Mark I* ni el ENIAC, ni ninguna de las calculadoras anteriores eran ordenadores en el sentido actual del término. Todas esas máquinas tenían un sistema de programación externo. Por lo tanto, una vez iniciado el proceso de cálculo, eran incapaces de modificar por sí mismas la ejecución de las secuencias inicialmente programadas.

La siguiente revolución vino, por consiguiente, cuando, a partir de mediados de los años cuarenta, varios ingenieros, inspirados en las ideas de Turing, y sobre todo de von Neumann, percibieron la importancia del programa grabado en la memoria interna de la máquina, y que ésta fuera capaz de interpretar las instrucciones como si se tratase de datos, permitiendo así una gran flexibilidad en su explotación. A partir de ese momento histórico, el desarrollo de los ordenadores comienza de manera vertiginosa. La influencia de Turing y von Neumann en ese proceso es tan enorme que vale la pena detenerse un momento para recordar la esencia de su aportación.

## 7 ALAN M. TURING: EL IDEÓLOGO DE LOS ORDENADORES

Las ideas del matemático y lógico británico Alan Mathison Turing (1912-1954) fueron una contribución decisiva para la consolidación de las bases de la lógica simbólica y el desarrollo de la ciencia informática hasta los niveles en que hoy se encuentra. En sus trabajos, Turing definió rigurosamente la noción actual de “algoritmo”, la palabra latina que recuerda el nombre del popular matemático árabe medieval Al Kuwarizmi, como una sucesión de reglas elementales que permite efectuar paso a paso, de forma encadenada, un número de operaciones para resolver un problema concreto. A partir de esta idea, Turing definió el concepto de «máquina de Turing» como un «dispositivo matemático abstracto, capaz de leer y escribir informaciones

unitarias, al nivel elemental de su análisis lógico, en una cuita potencialmente infinita, procediendo para ello casilla por casilla». Estos conceptos contribuyeron a esclarecer la función de los *autómatas algorítmicos*, es decir, de máquinas capaces de tratar algoritmos de forma automática y secuencial. En pocas palabras, la conclusión más relevante de estas reflexiones es que para que exista uno de estos autómatas es necesario que exista un algoritmo que conduzca a la solución, y que exista al menos una máquina de Turing capaz de tratar ese algoritmo.

Los trabajos de Turing se vieron coronados por el descubrimiento científico de la *máquina universal*: un dispositivo ideal capaz de efectuar automáticamente cualquier tipo de cálculos, sobre datos cualesquiera expresables por medio de símbolos abstractos. De otra forma: una máquina capaz de ejecutar de forma automática cualquier algoritmo.

En otro contexto, los trabajos de Turing provocaron que, desde un punto de vista lógico-matemático, se planteara la *calculabilidad* de ciertos problemas, una cuestión que el matemático alemán David Hilbert había planteado, sin demostración, en 1929. Esta duda filosófica enlaza directamente con el importante descubrimiento del lógico austríaco Kurt Gödel pocos años después sobre la *indecibilidad* de ciertas teorías generales axiomatizadas. Así, trasladando a la teoría de máquinas calculadoras el resultado de Gödel, puede decirse que no puede existir un programa universal que sea capaz de contestar en un número finito de operaciones la pregunta siguiente, relativa a un programa *P* cualquiera: ¿el programa *P*, se detendrá en un número finito de operaciones? Porque, si tal programa existiera, se llegaría a una contradicción lógica aplicándolo simplemente a el mismo.

En palabras de J.C. Simón, «es imposible concebir un programa general que permita prever de antemano si la máquina detendrá o no los cálculos para un programa *P* cualquiera».

De hecho, desde las aportaciones de von Neumann en los años 50, se sabe que existe una gran variedad de problemas que no son de naturaleza calculable (por ejemplo, en el ámbito de la emociones o en el de las relaciones humanas) y su solución no puede expresarse en forma de algoritmo, siendo, por tanto, irresolubles por una máquina de Turing. Así pues, los ordenadores pueden considerarse simplemente modelos finitos del autómata universal de Turing.

Terminada la guerra, Alan Turing se dedicó a la puesta en marcha de sus teorías, y en octubre de 1945 presentó un proyecto al gobierno británico de un modelo físico de *máquina universal de Turing* que incluía todos los detalles para la construcción de un ordenador electrónico. Por problemas económicos, este ordenador no se fabricó hasta 1950 con el nombre de *Pilot ACE*, siendo destinado durante unos pocos años a cálculos aeronáuticos.

## 8 CONSECUENCIAS DEL INFORME DE VON NEUMANN

Pocos meses antes del proyecto de Turing, en junio de 1945, el brillante matemático húngaro John von Neumann (1903-1957), había emitido un famoso informe sobre su concepción de los ordenadores electrónicos, incluyendo la idea de programa

grabado, que significó un antes y un después en el incipiente sector de la fabricación de máquinas informáticas.

Von Neumann estaba dotado de una mente privilegiada llegando a decir de él sus compañeros que «no pertenecía a la especie humana, sólo se parecía a ella». Su contribución en todos los dominios de las matemáticas fue inmensa, abarcando desde la teoría de conjuntos hasta la física cuántica, desde la teoría de funciones hasta la geometría y desde el cálculo numérico hasta la hidrodinámica. Una de sus aportaciones más famosas es en el campo de la teoría de juegos y sus aplicaciones en economía.

John von Neumann, después de un activo periodo académico en Europa, donde fue discípulo aventajado de Hilbert, emigró a Estados Unidos desde Budapest en 1930. Allí perteneció al famoso Institute for Advanced Studies de Princeton, donde por esa época también trabajaba Einstein. Antes de la guerra participó en los trabajos de investigación sobre la bomba atómica en los Alamos, lo que permitió evidenciar el gran volumen de cálculos necesarios para simular las reacciones en cadena en los combustibles nucleares. A finales de 1944, debido a su interés por las calculadoras automáticas fue contratado por la Moore School para concebir una nueva máquina de este tipo.

Von Neumann tuvo un primer encuentro con Alan Turing durante la estancia de éste en Princeton en 1937, y otras veces durante la guerra. Estos contactos permitieron a von Neumann conocer a fondo los trabajos de Turing que le causaron una gran impresión.

Durante 1944 el grupo informático de la Moore School, dirigido por John P. Eckert y John W. Mauchly, conscientes de las deficiencias del ENIAC en cuanto a su sistema de programación externo, emprendieron el proyecto de construir una nueva calculadora analítica, denominada *Electronic Discrete Variable Automatic Computer* (EDVAC).

El 30 de junio de 1945 von Neumann publicó un trabajo titulado *First draft of a report on EDVAC* (primer borrador de un informe sobre el EDVAC), que describía de forma magistral el concepto de programa grabado, así como otras características técnicas de la nueva máquina, tales como conceptos relativos a los nuevos sistemas de programación y toda la teoría para el control lógico de un sistema de cálculo analítico de gran velocidad. La difusión de este informe, aparentemente sin autorización de von Neumann, originó una polémica feroz entre éste y Eckert y Mauchly, quienes consideraron que el mérito del descubrimiento del programa grabado les correspondía. Lo que parece claro, con la perspectiva de los años, es que el concepto de programa grabado, que desde meses anteriores a esa época flotaba en el ambiente, fue el centro de las preocupaciones de todo un equipo dirigido por Eckert y Mauchly. Como menciona claramente Harry D. Huskey, «las conclusiones de los trabajos del grupo del ENIAC sobre el concepto de programa grabado fueron condensadas por von Neumann en un texto que, debido a ser un primer borrador, no mencionaba a los otros autores del concepto. Ese informe fue puesto en circulación con esa primera redacción, lo que contribuyó a que desde entonces se reconozca a von Neumann como el inventor de esa idea».

Pese a dicha polémica, lo cierto y verdad es que el informe de von Neumann fue una síntesis fundamental, y en muchos aspectos original, del estado del conocimiento sobre la concepción de los ordenadores que a partir de ese momento mucha gente denominó «máquinas de von Neumann». De alguna manera, la autoridad de dicho informe fue reconocida por el propio John Eckert, quien años después admitió que «el doctor von Neumann ha expuesto algunas de las ideas del doctor Mauchly y de las más en una forma de notación lógica semi-matemática que le es propia». Fue precisamente en consideración al grado de generalidad, coherencia y profundidad de dicha «notación lógica» que, en palabras de George Ifrah, «gracias a von Neumann, el concepto del ordenador se hizo científicamente transmisible y universalmente utilizado».

Así pues, las ideas del informe de von Neumann fueron tan fecundas que desde finales de 1945 se produjo, tanto en Estados Unidos como en Europa, un desarrollo acelerado de los ordenadores electrónicos y binarios.

La primera iniciativa de este tipo fue promovida por Eckert y Mauchly, quienes, desengañados por la polémica surgida a partir del informe de von Neumann, dejaron la Moore School y fundaron en 1946 su propia sociedad que acabó denominándose la Eckert and Mauchly Computer Corporation. Dicha compañía construyó en 1946 el BINAC (*Binary Automatic Computer*), el primer ordenador electrónico construido en Estados Unidos que fue destinado a ejecutar un sistema de control de misiles.

Paradójicamente, la máquina revulsivo de este progreso, el EDVAC, tuvo un desarrollo más lento de lo previsto y no se concluyó hasta finales de 1951, cuando se entregó al Ballistics Research Laboratory, donde funcionó hasta 1962.

Von Neumann, por su parte, regresó a Princeton en 1946. Allí, junto con algunos antiguos miembros del equipo del ENIAC, dedicó sus esfuerzos a la construcción del *IAS Computer* que finalizado en 1952 fue el primer ordenador americano destinado a resolver problemas científicos.

Las ideas de von Neumann fueron también utilizadas por diversas organizaciones americanas para la construcción de ordenadores. Así, en Washington D.C., el American National Bureau of Standards finalizó en 1950 la construcción de una máquina de von Neumann denominada SEAC (*Standard Eastern Automatic Computer*) que fue utilizado para la solución de una gran variedad de problemas diferentes. Por otra parte, en el MIT se construyó en 1951 el Whirlwind I, un ordenador concebido para realizar simulaciones de distinto tipo en tiempo real.

La informática comercial se inauguró en 1951 con el UNIVAC I, ideado y realizado por la empresa de Eckert y Mauchly, que fue pronto absorbida por la Remington Rand para convertirse en la UNIVAC Division, a la que ya nos hemos referido anteriormente. La UNIVAC I atrajo la atención del gran público sobre los ordenadores, al ser utilizada por la cadena CBS para realizar, con gran acierto, los sondeos de la contienda presidencial de 1952 que ganó D. Eisenhower.

La empresa IBM no quiso, naturalmente, quedarse atrás en esta frenética carrera en la que pronto tomó el liderazgo. La primera iniciativa de esta compañía se fraguó alrededor de las ideas de Robert R. Seeber, un matemático miembro del equipo del Mark I. Seeber había tenido también hacia 1945, al parecer de manera independiente, la idea de programa grabado, aunque no logró que fuera aceptado por el equipo de Howard Aiken en Harvard. Apoyado por IBM, Seeber, con la colaboración del astrónomo Wallace J. Eckert (quien dirigió el proyecto) y de Frank F. Hamilton, construyó en agosto de 1947 la super máquina que fue bautizada con el nombre de SSEC (*Selective Sequence Electronic Calculator*)

El SSEC marcó el inicio del liderazgo de IBM en el mercado de los ordenadores. Si bien su rapidez era inferior a la del ENIAC, cuya tecnología era totalmente electrónica, por el contrario, su capacidad de memoria y fiabilidad eran mayores. Además, para la época, la rapidez del SSEC era excepcional, pudiendo ejecutar sesenta mil multiplicaciones de dos números de catorce cifras en apenas veinte minutos, o sea, en el mismo espacio de tiempo que necesitaría un humano experto para efectuar sólo una. Otro ejemplo: llegó a resolver un problema de física incluyendo nueve millones de operaciones elementales en ciento tres horas, cuando el mismo cálculo realizado en una máquina de calcular de oficina hubiera requerido cerca de medio siglo.

Pese a sus ventajas, el SSEC comportaba incoherencias lógicas considerables, que le dejaban en muchas ocasiones en inferioridad de condiciones con respecto al ENIAC, o incluso al Mark I. Por este motivo fue pronto retirada para ser sustituida por una nueva generación de máquinas de IBM construidas según la teoría establecida por von Neumann. La primera de ellas fue el IBM 701, fabricado en 1953 por encargo del Departamento Americano de Defensa en la época de la guerra de Corea. Este ordenador constituyó la primera de toda una serie de máquinas que hicieron el nombre de IBM familiar en el mundo de la informática comercial.

Las primeras iniciativas en Europa en esta industria febril fueron mucho más moderadas y se concentraron casi exclusivamente en Inglaterra. Allí, unos años antes de la construcción del *Pilot ACE* de Turing, antes mencionado, hubo dos iniciativas importantes. La primera, promovida por la Universidad de Manchester, se concretó en la construcción en 1948 del MADM (*Manchester Automatic Digital Machine*). Esta fue una máquina experimental que tuvo posteriormente una versión comercial construida por la firma inglesa Ferranti y después continuada por el grupo ICL, antes mencionado.

Por otra parte, en la Universidad de Cambridge se acabó de construir en 1949 el EDSAC (*Electronic Delay Storage Automatic Calculator*), considerado el primer ordenador de propósito general del mundo. Basado en los conceptos de von Neumann, este ordenador fue comercializado desde 1950 con el nombre de LEO Computer (*Lyons Electronic Office*).

Y esos fueron, en definitiva, los momentos más estelares del inicio de la revolución informática, revolución que todavía hoy vivimos de forma cada vez más intensa, y que ha permitido, con ayuda de los métodos numéricos, cerrar el bucle mágico de los números, para permitirnos un mejor conocimiento de la naturaleza y, por añadidura, del propio ser humano.

## 9 FORJANDO LA RED

Cuando Robert Taylor entró en 1965 en la organización gubernamental Advanced Research Projects Agency (ARPA), su oficina en el Pentágono incluía una pequeña sala informática. Allí, una al lado de la otra había tres pantallas de ordenador (terminales), cada una de marca diferente y conectada a un ordenador central distinto, con su propio sistema operativo y su lenguaje de programación. ARPA era una organización líder en investigación informática, pero las terminales eran incómodas de utilizar. Trabajando con tres ordenadores era como utilizar tres televisores, cada uno emitiendo un canal distinto. «Era obvio», expresó Taylor años después, «que había que encontrar una forma de conectar todas esas máquinas diferentes».

Establecida en 1958 como respuesta a los retos de la iniciativa soviética Sputnik, ARPA era generosa con sus fondos en tiempos de Taylor. En 1966, cuando Taylor fue promocionado a jefe de su división, la Information Processing Techniques Office, decidió poner en marcha sus ideas. Así, sin previo aviso, entró en el despacho del director de ARPA.

Taylor le dijo a su jefe que cada investigador de ARPA quería disponer de su propio ordenador. Mucho trabajo se estaba multiplicando, lo que estaba incrementando los costes dramáticamente. Los ordenadores no eran pequeños ni baratos. ¿Por qué no intentar enlazarlos todos? Si las máquinas se enlazaban electrónicamente, investigadores trabajando en distintas partes del país podrían compartir recursos y resultados más fácilmente. «ARPA», sugirió Taylor, «podría financiar una pequeña red de prueba, empezando con, digamos, cuatro nodos».

La petición de Taylor fue aceptada de inmediato y puso en marcha el experimento que originó Internet, aunque pocos lo saben. Como casi todas las nuevas culturas, Internet tiene sus propios mitos asociados a su creación. El más extendido es que Internet fue un invento militar americano construido para mantener el flujo de información en caso de un ataque nuclear.

Como la mayor parte de los mitos, el de la creación de Internet tiene sus raíces en algunos hechos reales. En los inicios de los años 60, en plena época de la guerra fría, antes de que Taylor entrara en el despacho de su jefe con su idea, un ingeniero americano llamado Paul Baran escribió una serie de artículos que anticiparon de forma brillante la estructura de Internet. Poco tiempo después, el físico británico Donal Watts Davies llegó independientemente a las mismas ideas. Desde esa época, docenas de científicos ayudaron a inventar Internet, mejorando el concepto central, que ciertamente tuvo su inspiración, al menos para Baran, en el miedo del peligro del enemigo oficial de la época en Norteamérica: los soviéticos.

Cuando en 1959 Baran marchó a Santa Mónica, California, para trabajar en la Sperry Rand Corporation, la empresa que tuvo su origen en las patentes Powers sobre máquinas tabuladoras para el recuento del censo, los americanos y los soviéticos estaban en plena fiebre constructora de misiles nucleares de largo alcance. Baran sabía que la red de comunicaciones de la nación no podría soportar un ataque nuclear. No obstante, para que el presidente pudiera ordenar un disparo nuclear, o anularlo, se



necesitaba utilizar al menos parte de dicha red. El diseño de un sistema robusto no era por lo tanto un reto intelectual; era una respuesta necesaria, en palabras de Baran, a «la situación más peligrosa que ha existido».

Baran se puso manos a la obra entre el escepticismo de sus colegas. Para Baran, la clave de redes más robustas era la redundancia, es decir, las estructuras de comunicación tenían que funcionar como entidades cohesionadas, incluso aunque muchos de sus componentes hubieran sido destruidos. Mirando más allá de las tendencias de las calculadoras de la época, Baran apuntó al futuro de la tecnología digital en la simbiosis entre hombre y máquina, y escogió el cerebro humano como modelo. Cuando las células cerebrales se dañan, defendía Baran, las redes neuronales tienden a sortear la zona dañada, tomando nuevos caminos por el cerebro. Teóricamente, era posible construir una red con un gran número de conexiones redundantes. Había sólo un problema, las señales analógicas se deterioraban cada vez que se enviaban a través de más de un enlace, tal y como sucede con las copias de video reproducidas un gran número de veces. Por ese motivo, era inútil conectar dos puntos en la red telefónica a través de más cinco puntos intermedios.

La solución, pensó Baran, se encontraba en los ordenadores. Las señales digitales podían almacenarse eficientemente y reproducirse un número ilimitado de veces con gran precisión. Si se pudiera enseñar a los ordenadores a hablar entre sí, podría crearse una red con la redundancia suficiente y que, salvando las distancias, reprodujera el tipo de complejos enlaces de las neuronas cerebrales. Además, los ordenadores eran más veloces. Cualquier conexión digital era susceptible de batir los veinte o treinta segundos que necesitaban los conectores telefónicos mecánicos de la época para establecer una conexión de larga distancia.

El diseño de la red teórica de Baran era extremadamente sencillo. Imaginó una red de muchos nodos, cada uno conectado a su vecino, recordando al entramado de una red de pesca. Otra idea de Baran, incluso más revolucionaria, fue fraccionar también los mensajes. Dividiendo cada mensaje en partes, podía inundar la red en lo que llamó bloques de mensajes o «paquetes», cada uno viajando a su destino por rutas diferentes, para ser reensamblada a su llegada por un ordenador receptor.

El concepto de transporte de Baran aproximaba más a la organización de una mudanza que a otra cosa. Imaginemos que cada mensaje es una casa grande. ¿Como trasladar la casa de una ciudad a otra en el extremo opuesto del país? Lo más eficiente en ese caso es desmontar la casa en piezas y cargar las piezas en camiones que las transporten a través de la red de carreteras del país. Según qué circunstancias, no todos los camioneros optarán por la misma ruta. Lo esencial, no obstante, es que mientras cada conductor sepa donde entregar su carga, todas las piezas llegarán a su destino, donde serán montadas en su forma original.

Baran ideó una red de interruptores, o nodos, cada uno incorporando una hoja de ruta. Dicha hoja indicaría el mejor recorrido para los paquetes, y se actualizaría según el tráfico y las condiciones mecánicas de los nodos vecinos, tal como las centrales de tráfico advierten a los automovilistas por radio sobre los obstáculos en las carreteras. Si

la mejor ruta estuviera muy sobrecargada, o simplemente no operativa, el paquete de mensajes tomará automáticamente la siguiente mejor ruta.

Durante cinco años, Baran escribió sus ideas e intentó sin éxito convencer de la viabilidad del proyecto a diferentes empresas como ATT y Bell. El guante lo recogió, sin embargo la propia Sperry-Rand, que logró interesar también a las fuerzas aéreas. Así, en 1965, el Pentágono aceptó financiar la red de Baran pero, por problemas organizativos, la puesta en marcha del proyecto se retrasó hasta 1967.

En esa fecha, y cuando ya estaba enfrascado en otros proyectos, Baran fue requerido para unirse al grupo de expertos encargados de crear la primera red de ordenadores para ARPA. El responsable del grupo, a quien Taylor había cuidadosamente escogido, era un joven y brillante ingeniero llamado Laurence G. Roberts; otro convencido de que el futuro de los ordenadores estaba en la posibilidad de conectarlos entre sí.

Inicialmente la idea de Roberts era interconectar todos los nodos directamente a través de la línea telefónica. Las funciones de enlace se manejarían por los grandes ordenadores centrales ubicados en los nodos, que compartirían esa tarea con las cotidianas de investigación.

Esta idea fue recibida con muy poco entusiasmo. Los usuarios de los grandes ordenadores no estaban dispuestos a compartir su utilización en beneficio de una red de valor dudoso. Por otra parte, los propietarios de las máquinas más potentes veían con susceptibilidad el enlace con otros ordenadores de menor entidad. Estos problemas, unidos a los de la fuerte rivalidad entre las universidades de las dos costas de Estados Unidos hizo tambalear el proyecto.

La solución fue propuesta en una de las reuniones en ARPA por Wesley Clark, un informático de la Universidad de Washington, en Saint Louis. La propuesta de Clark era simple: implicar lo menos posible a los grandes ordenadores centrales, en vez de ello, insertar un pequeño ordenador entre cada uno grande y la red de transmisión para gestionar la circulación de mensajes. Curiosamente, Donal Davies había llegado a la misma idea de forma independiente en Inglaterra, donde por esas fechas se diseñaba ya las funciones de «ordenadores de enlace». A estos útiles pequeños ordenadores se les denominó IMPs (por «interface message processors»).

La sugerencia de Clark resolvió varios problemas. Así, por un lado redujo la presión sobre los grandes ordenadores centrales y sobre las personas a su cargo. Por otro, los pequeños ordenadores de enlace podían hablar el mismo lenguaje, evitando, así, lo que podía convertirse en una Babel de lenguajes informáticos y sistemas operativos. Cada gran ordenador central tendría sólo que aprender el lenguaje de los pequeños ordenadores de enlace, que constituirían una especie de subred dentro de la red más general. Finalmente, por su más sencillo diseño, el mantenimiento de los IMPs sería más fácil que el de las grandes máquinas, (que por esa época requerían varias horas de mantenimiento semanal), lo que garantizaría el funcionamiento autónomo de la subred con independencia de si los ordenadores centrales u otros IMPs funcionaban o no.

En Cambridge, Massachusetts, la empresa Bolt Beranek and Newman trabajó duramente a lo largo de 1969 en el diseño y construcción de los primeros IMPs. De esta manera, se inventaron los algoritmos para capturar «paquetes» en un IMP, estimar el mejor lugar donde enviarlos y hacerlos llegar al siguiente IMP seleccionado en la subred.

Pocos meses antes, Roberts había escogido para empezar la red ARPA cuatro nodos: la Universidad de California, en Los Angeles (UCLA); el Stanford Research Institute (SRI), en Menlo Part, California; la Universidad de Utah, en Salt Lake City y la Universidad de California, en Santa Bárbara. En el mítico verano de 1968, más de un año antes de que tuviera que instalarse el primer IMP en UCLA, un grupo de estudiantes de postgrado de cada universidad se reunió en Santa Bárbara y constituyó el NWG (Network Working Group) con el objetivo de tratar de resolver, entre todos, los múltiples problemas de la nueva aventura tecnológica.

Una tarea del NWG que no se incluyó para ser realizado por los IMPs fue cómo conseguir que los ordenadores centrales se entendieran. Los IMPs, como meros intermediarios, se diseñaron para leer sólo los primeros treinta y dos bits de cada paquete -la parte donde se definía su fuente, su destino y su posición en el fichero donde eventualmente se reensamblaría-. La traducción del contenido de cada paquete se dejó en manos de cada ordenador central, lo que exigía el diseño de los protocolos de comunicación en el tiempo récord de un año. El objetivo del NWG fue conseguir que los ordenadores centrales hablaran entre sí como iguales, o al menos que reconocieran la existencia mutua.

En la primavera de 1969, los protocolos de comunicación seguían lejos de estar acabados y la llegada de los primeros IMPs estaba prevista hacia finales de verano. Para salir del paso, el NWG decidió utilizar el mejor protocolo disponible en el grupo. El seleccionado fue el protocolo desarrollado en el SRI, que engañaba a su ordenador haciéndole creer que se estaba comunicando con una terminal en vez de con otro ordenador. Esta solución estaba todavía lejos de permitir comunicar dos ordenadores como iguales, pero era la única posible en el corto tiempo disponible.

Así, finalmente, a primeros de octubre de 1969, una vez que los dos primeros IMPs fueron instalados en la UCLA y el SRI, un afortunado estudiante de UCLA, llamado Charley Kline, levantó el teléfono en los Angeles y llamó al IMP de Menlo Park. Allí, uno de los miembros del grupo del SRI respondió y las dos máquinas empezaron la conexión. Tras una serie de primeros intentos fallidos se logró ese mismo día una comunicación regular y Kline, desde los Angeles, pudo entrar en la máquina de Menlo Park y ejecutar diferentes instrucciones en su sistema de tiempo compartido. El ordenador del SRI respondió siempre como si la máquina de la UCLA fuera una auténtica terminal.

Como explican Katie Hafner y Matthew Lyon en su reciente libro sobre Internet, hay un rasgo de ironía en el hecho de que el primer programa utilizado a través de la red tuviera que disfrazar uno de los ordenadores como una simple terminal. Todo el trabajo

para conectar ordenadores terminó con la misma relación del tipo dueño-esclavo que la red pretendía eliminar.

Pero eso fue sólo el inicio. En menos de un año, los cuatro IMPs se instalaron en los cuatro nodos seleccionados, y el NWG pudo concluir un protocolo de comunicación entre dos o más máquinas. La red de ordenadores, que había comenzado como un experimento de alto riesgo, comenzó a hacerse realidad, para transformarse en la herramienta de comunicación más revolucionaria desde la invención del teléfono.

Así, como magistralmente relatan Hafner y Lyon, la creación de internet ha sido uno de los más claros y recientes ejemplos de la materialización de un gran espíritu colaboracionista al servicio del hombre. Nada sintetiza quizás mejor ese espíritu que las palabras del propio Baran, pronunciadas pocos años después de que Internet fuera una realidad universal:

«Los desarrollos en tecnología son como la construcción de una catedral», explicó Baran años después. «En el curso de varios siglos nuevas personas se incorporan a la tarea y cada una coloca uno o varios bloques sobre la construcción existente. Si no tienes cuidado, puedes autoconvencerte de que tú hiciste la parte más importante, pero la realidad es que cada contribución ha de apoyarse en el trabajo anterior. Todo está ligado a las otras partes del conjunto».



## 10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.J. Argyris y S. Kelsey, “*Energy theorems and structural analysis*”, Butterworth, 1960.
- [2] M.E. Baron, *The origins of infinitesimal calculus*, Dover Publications, 1987.
- [3] J.D. Barrow, ¿*Por qué el mundo es matemático?*, Grijalbo-Mondadori 1997.
- [4] P. Beckmann, *A history of  $\pi$* , The Golem Press, 1971.
- [5] E.T. Bell, *The magic of numbers*, Dover Publications, 1991.
- [6] E.T. Bell, *The development of mathematics*, Dover Publications, 1992.
- [7] P.J. Davis y R. Hersch, *El sueño de Descartes*, Editorial Labor, 1989.
- [8] H.M. Enzensberger, *El diablo de los números*, Ediciones Siruela, 1997.
- [9] D. Guedy, *El imperio de las cifras y los números*, Ediciones B., 1998.
- [10] L. Hobben, *Mathematics for the millions*, Pan Books, London 1967.
- [11] Hrenikoff, “Solution of problems in elasticity by the framework method”, *J. Appl. Mech.*, Vol. 18, pp. 169-175, 1991.
- [12] K.Hafner and M. Lyon, *Where wizards stay up late*, Simon & Schuster Publishers, 1998.
- [13] T. Kiang, «An old chinese way of finding the volume of a sphere», *Math. Gazette*, LVI, 88-91, 1972.
- [14] D. Mc.Henry, “A lattice analogy for the solution of plane stress problems”, *Inst. Civ. Engng.*, Vol. 21, pp. 59-82, 1943.
- [15] E. Oñate, *El Aura de los números*, Real Academia de Doctores, Barcelona, 1998.
- [16] J.A. Paulos, *El hombre anumérico*, Metatemas, 1988
- [17] J. Rey Pastor y J. Babini, *Historia de la matemática* (dos volúmenes), Editorial Gedisa, 3ª edición, 1997
- [18] S. Singh, *El enigma de Fermat*, Editorial Planeta, 1997.