

BREVE HISTORIA DE LA INFORMÁTICA

R. Martínez, A. García-Beltrán

División de Informática Industrial

ETSI Industriales – Universidad Politécnica de Madrid

C/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 – MADRID (ESPAÑA)

{*raquelm, agarcia*}@etsii.upm.es

Octubre de 2000

Introducción

En el sentido estricto, la informática no es una ciencia o disciplina que emplea métodos científicos para explicar fenómenos de la naturaleza o de la sociedad, sino más bien, en el sentido más amplio de conocimiento sistemático con una base teórica. Dentro de un contexto muy amplio (relacionado directamente con la expresión anglosajona *Computer Science* que podría traducirse en español por Informática), abarca un gran número de áreas temáticas relacionadas con la computación, tanto en su vertiente más científica como en aquella propia de las ramas de la ingeniería.

Tratar de definir una materia puede suponer una tarea cuando menos complicada, pues siempre será difícil delimitarla, pudiendo surgir, ideas y opiniones contradictorias a este respecto. Por ello, quizás, la historia pueda ser el mejor medio para conseguirlo, por lo que, a continuación, se va a hacer una breve revisión histórica de la Informática.

Los comienzos

La historia de la técnica corre paralela con la historia de la humanidad. El ser humano es un animal racional lo que le conduce a ser un animal tecnológico. El *homo faber* es anterior al *homo sapiens* y esta capacidad de hacer le permitió transformar el medio que le rodea, en lugar de adaptarse a él como han hecho otros animales. Tampoco le hubiera sido fácil adaptarse al medio y sobrevivir pues se encontraba con otros animales con mejores defensas, piel más resistente, incisivos más potentes, garras más eficaces, mayor velocidad y mejor agilidad. Sin embargo, el hombre contaba con tres facultades: imaginación, habilidad manual y lenguaje, que controladas adecuadamente por otras facultades superiores como la razón y la inteligencia le permitirían transformar el entorno. La imaginación le permitió al hombre crear dentro de sí las herramientas que necesitaba para sobrevivir en un ambiente hostil. Con su habilidad manual, según Franklin “*man is a tool making animal*”, el hombre consiguió construir esas herramientas, acumulando en ellas la potencialidad que le faltaba en la acción directa. El lenguaje le permitió conservar y transmitir sus conocimientos, así como la transmisión de información en el tiempo. En la transmisión de información en el espacio el hombre primitivo era superado por otros animales, que lo hacían a mayores distancias por su mayor potencia. Sin embargo, el lenguaje y la memoria le permitieron desde el principio ser superior en la transmisión de información a través del tiempo.

Los sistemas de numeración

El cálculo no participaba de la vida del hombre primitivo, probablemente todas sus capacidades se reducían a contar con los dedos de la mano. Durante los grandes imperios orientales se conocían algunos sistemas de numeración pero no orientados hacia el cálculo. Algunos sistemas, como el jeroglífico egipcio, contenían una simbología de inspiración decimal, aunque no posicional y permitían cálculos sencillos. Otros como el sistema babilónico eran de base sexagesimal con una orientación hacia los cálculos astronómicos y temporales. Los romanos y griegos estaban acostumbrados a representar los números pero no a manejarlos en operaciones aritméticas. El sistema chino es decimal, con una simbología para el valor absoluto de sus cifras y otra para el valor relativo. El sistema de numeración maya es un sistema mixto de base 20. En la India se concebiría y llegaría a la humanidad un sistema de numeración de base decimal que permitía unas facilidades de cálculo mental adecuadas.

El ábaco

El ábaco de polvo constituye la más antigua herramienta de cálculo conocida y se remonta a la llamada cuna de la civilización hace por lo menos 5000 años en el Valle del Tigris-Eufrates, al suroeste de Asia. El *ábaco de polvo* no era más que una pequeña superficie cubierta de polvo o de arena, sobre la cual se marcaban las cifras con un estilo. En la China de Confucio (541-479) al ábaco se le llamó *suanpan*. Estaba dividido en dos partes por un travesaño, a la parte superior se le denominaba cielo y contenía dos cuentas, a la parte inferior se le denominaba tierra y contenía cinco cuentas. Las cuentas del cielo valían por cinco unidades y las de tierra por una. El ábaco es citado en Roma por Cicerón (106-43a.C), Plinio (23-79) y Juvenal (65-135). La palabra *abacus* significa marco o tablilla y con este sentido se utiliza en lenguaje arquitectónico para designar la parte superior de cualquier capitel. Paradójicamente las herramientas de cálculo, se desarrollan principalmente en aquellas civilizaciones que no inventaron sistemas de numeración aptos para el cálculo mental. El uso del ábaco continuó hasta la Edad Media en Europa, donde las casas nobles poseían sus propias tablas de cálculo con sus correspondientes cuentas. Estas no eran las simples bolas del ábaco actual, sino que estaban sumamente bien talladas o fundidas en metal con el símbolo característico de la casa.

Las calculadoras astronómicas

Aproximadamente 3000 años antes del descubrimiento de América, se construye el observatorio de Stonehenge en Inglaterra. Este monumento, compuesto de círculos concéntricos hechos de piedras gigantescas, sigue siendo un enigma para los arqueólogos. Está considerado por algunos como una primitiva calculadora astronómica ya que se ha probado con ayuda de ordenadores que Stonehenge indica los solsticios y los comienzos de las temporadas así como predice los eclipses del sol y de la luna. La alineación de marcas (piedras, hoyos y los centros de los círculos) señalaban la salida y puesta de sol durante los días de los solsticios de verano e invierno.

Ya a principios de este siglo, se recuperó un barco que había naufragado en la costa griega otra calculadora astronómica posterior de tipo mecánico que se atribuyó al siglo I a.C. Este mecanismo contiene pistas de engranajes cuidadosamente diseñadas

que, por lo visto, movían las manillas de los indicadores frontales a velocidades exactamente análogas a los movimientos planetarios.

La Edad Media

Poco antes de llegar al año 1000, el sacerdote francés Gerbert de Aurillac es traído por el conde de Borrell al monasterio de Ripoll, donde lleva a cabo el primer intento en la Europa Occidental de mecanizar el ábaco. Aunque pasó muchos años intentando perfeccionar su dispositivo, nunca logró que funcionara con precisión a pesar de los 1000 contadores hechos de cuerno y repartidos entre 27 separadores. Su instrumento no resultó mucho mejor que las operaciones manuales puesto que en aquel momento se desconocía el concepto de cero, si bien, una novedad fue la de escribir en las bolas los caracteres indo-arábigos que había aprendido en Ripoll.

Otros informes hablan de un español llamado Magno que, aprovechando las ideas anteriores, creó alrededor del año 1000 una máquina calculadora de latón, con la forma de una cabeza humana en la que las cifras aparecían en la posición de los dientes. Se dice que los sacerdotes de la época pensaron que el aparato era algo sobrehumano y lo destruyeron a martillazos, destruyendo toda prueba de su precisión.

El descubrimiento de dos tomos encuadernados de los apuntes de Leonardo da Vinci en la Biblioteca Nacional de Madrid, demostró que el genio del siglo XV había tratado también esta cuestión. Sus dibujos describen una máquina que mantendría una ratio constante de 10:1 en cada una de sus 13 ruedas de registro de dígitos. Nunca se ha conocido ningún prototipo de este aparato que funcionara y los expertos dudan que Pascal viera los dibujos de da Vinci.

Las máquinas de Napier y Schickard

El descubridor del logaritmo, John Napier (1550-1617), barón de Merchiston en Escocia, desarrolló en 1614 un aparato conocido como las varillas o *huesos de Napier* que venía a ser una tabla de búsqueda de resultados para las multiplicaciones. Los huesos formaban una tabla movable de multiplicaciones, hechas de láminas de hueso que tenían los números impresos. Colocadas en la combinación correcta, estas láminas podrían realizar multiplicaciones directas.

Un profesor alemán de lenguas bíblicas y astronomía, Wilhelm Schickardt diseñó en 1623 una máquina que, según se contaba, podía sumar, restar, multiplicar y dividir. Desafortunadamente el modelo original se destruyó en un incendio y nunca se volvió a construir otro.

La Pascalina

La primera calculadora la inventó un joven francés llamado Blaise Pascal (1623-1662) en 1642. Era hijo de un recaudador de impuestos y buscaba la forma de reducir el tedioso trabajo de sumar grandes cantidades de números. El principio básico del mecanismo de ruedas de engranaje se aplicó a la mayor parte de las calculadoras mecánicas durante unos trescientos años.

La *pascalina*, en esencia, parecida a las calculadoras que todavía se utilizaban hasta hace unas décadas, ordenaba los dígitos de un número en una serie de ruedas. Cuando una rueda completaba una revolución, causaba que la siguiente girara una décima de revolución, sumaba de esta forma cada dígito contado. El mecanismo más difícil de incorporar era la rueda de trinquete que comunicaba por una revolución de un movimiento de un dígito a la siguiente rueda de orden superior. Aunque la máquina incorporaba ocho discos movibles, que correspondían al sistema monetario francés de la época, se pueden realizar cálculos en el sistema decimal, pasando por alto, los dos discos del extremo derecho. Aunque la máquina no llegó a ser producto de grandes ventas, se construyeron más de 50 modelos, algunos de madera, otros de marfil, ébano y cobre.

Los avances de Leibnitz

Para empezar, Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646-1716) mejoró la máquina de Pascal, añadiéndole un cilindro escalonado de dientes de longitud variable, conocida ahora como *rueda de Leibnitz* para representar los dígitos del 1 al 9. En 1673 construyó su máquina calculadora después de realizar varios modelos distintos. Era verdaderamente superior a la de Pascal y fue el primer dispositivo calculador de propósito general capaz de satisfacer las necesidades principales de matemáticos y contables: era una máquina capaz de sumar, restar, multiplicar, dividir y obtener raíces. Además de esta máquina, Leibnitz diseñó otros ambiciosos aparatos calculadores que resultaron ser demasiados complicados para fabricarse en el siglo diecisiete. Los principios diseñados por Leibnitz fueron explotados sin embargo durante los siglos diecinueve y veinte a medida que avanzaba la ingeniería de precisión. Ejemplos de estas aplicaciones son el *aritmómetro* de Charles Xavier Thomas (1785-1870) de Colmar en 1820, el mismo aparato incluyendo las mejoras a la rueda escalonada de Leibnitz de Frank Stephen Baldwin en 1872 y la máquina del sueco W. T. Odhner basada en el diseño de Baldwin.

La máquina analítica de Babbage

La idea que tuvo el inglés Charles Babbage (1791-1871) de un ordenador tuvo su origen en el hecho de que la elaboración de tablas matemáticas era realmente frustrante por ser un proceso tedioso y tendente a errores. En 1823 solicitó y obtuvo una subvención del gobierno británico para crear una *máquina de diferencias*, un dispositivo mecánico para realizar sumas repetidas. Mientras tanto, Joseph-Marie Charles Jacquard (1752-1834), fabricante de tejidos francés, había ideado un telar que podría reproducir automáticamente patrones de tejidos leyendo la información codificada en patrones de agujeros perforados en tarjetas de papel rígido. El telar de Jacquard construido en 1801 puede considerarse como la primera máquina programada. Al saber sobre el telar programable de Jacquard, Babbage abandonó la máquina de diferencias y se dedicó a un proyecto más ambicioso.

La llamada *máquina analítica* de Babbage puede considerarse el antecedente directo del ordenador actual. Ideada en 1835, tampoco llegó nunca a realizarse, probablemente por la incapacidad de la tecnología, meramente mecánica, de la época. La idea central combinaba la programación con tarjetas perforadas y la realización de las cuatro operaciones aritméticas con decisiones basadas en los propios resultados

intermedios de la secuencia de cálculo almacenados internamente. De esta manera se identificaban las etapas de una tarea informática como entrada, tratamiento y salida de datos asociadas a los distintos elementos de la máquina. De Babbage parte la idea de programa como un conjunto de instrucciones que controlan las operaciones de un ordenador.

La hija de Lord Byron, Ada Augusta Byron (1788-1824), condesa de Lovelace, quedó fascinada por la máquina analítica y colaboró en su diseño, aportando nuevas ideas y corrigiendo los errores del trabajo de Babbage. También construyó varios procedimientos para utilizar la máquina de Babbage en la resolución de varios problemas. Como consecuencia de sus aportaciones, Ada Lovelace se considera la primera programadora de la historia.

El impresor sueco George Scheutz tuvo conocimiento del trabajo de Babbage y construye una pequeña máquina diferencial que fue comprada en 1855 para el Observatorio Dudley de Albany en Nueva York, para imprimir tablas astronómicas. Este fue el primer ordenador que hubo en América. Se construyó otra máquina Scheutz para el gobierno inglés y se utilizó para computar tablas actuariales dirigidas a las compañías de seguros.

La lógica de Boole

En 1854 el matemático inglés George Boole (1815-1864) sienta las bases de lo que conocemos hoy como Teoría de la Información, con la publicación de su obra maestra, *Una Investigación de las Leyes del Pensamiento sobre las cuales se fundamentan las Teorías Matemáticas de la Lógica y las Probabilidades*. En su obra, Boole expresa la lógica como una forma extremadamente simple de álgebra, en la cual se lleva a cabo el *razonamiento* mediante la manipulación de fórmulas más sencillas que aquellas utilizadas en el álgebra tradicional. Su teoría de la lógica, que reconoce tres operaciones básicas: Y, O y NO, no tuvo ningún uso práctico hasta bastante después, cuando llegaría a formar parte del desarrollo de la conmutación de circuitos telefónicos así como del diseño de ordenadores electrónicos.

Simultáneamente, en esta época parecen una serie de dispositivos de cálculo analógico como pueden ser la máquina de cálculo de raíces de ecuaciones de Boys, la balanza algebraica del barcelonés Castells y Vidal, el calculador de raíces del santanderino Torres Quevedo o el sintetizador armónico de Lord Kelvin.

La máquina tabuladora de Hollerith

Si la máquina de Babbage fue el precedente teórico del ordenador, el precedente industrial y comercial se encuentra en las máquinas tabuladoras, de aplicación directa en el tratamiento de datos administrativos. Para el censo norteamericano de 1890, el ingeniero mecánico Herman Hollerith (1860-1929) diseñó un sistema compuesto de una lectora eléctrica de tarjetas perforadoras, una clasificadora rudimentaria y una unidad tabuladora para realizar las sumas e imprimir los resultados. La máquina censadora o tabuladora tuvo un gran éxito y fue capaz de concluir el recuento del censo de 1890 en menos de tres años. Otras máquinas de este tipo se utilizan posteriormente en Rusia, Canadá y el Reino Unido, entre otros países. En 1911, Hollerith funda la *Computing-*

Tabulating-Recording Machine Company, que posteriormente, reorganizada por Thomas J. Watson sería el preludio de la fundación de IBM. Uno de los fundadores de la estadística, el matemático inglés Karl Pearson (1857-1936) y el astrónomo Leslie John Comrie (1893-1950) fueron los primeros en utilizar las máquinas de Hollerith para el cálculo científico, con ellas tabularon los movimientos de la luna hasta el año 2000.

La Máquina Universal de Turing

En 1936, el inglés Alan M. Turing (1912-1954) especificó un ordenador teórico completamente abstracto que pudiera llevar a cabo cualquier cálculo realizable por un ser humano. La *Máquina Universal de Turing* presentaba muchos aspectos que, posteriormente, se incorporarían a todas las máquinas de cálculo generales. Su trabajo tiene un valor especial para entender las capacidades y limitaciones de los ordenadores en el diseño de los lenguajes de programación y en el estudio de la inteligencia artificial. El mismo Turing aprovechó la oportunidad para dar vida a sus ideas mediante sus investigaciones sobre lo que generalmente se consideran los primeros ordenadores digitales electrónicos funcionales del mundo, desarrollados en Gran Bretaña durante la Segunda Guerra Mundial. Entre otros proyectos, colaboró en la construcción de la serie *Colossus*, máquinas de propósito específico, dedicadas a la criptología, no fácilmente modificables para otro fin.

Los dispositivos electromecánicos

Los aparatos más eficientes en el ámbito del cálculo científico y militar en la primera mitad del siglo XX empleaban la hoy en desuso tecnología analógica. Así ocurría con el analizador analógico de Vannevar Bush desarrollado hacia 1930. Más tarde, el uso de la tecnología electromecánica de los relés telefónicos impulsó nuevas máquinas de cálculo como el enorme Mark I de Harvard, desarrollado entre 1937 y 1944 por Howard Aiken con financiación de IBM.

Ya en 1937, Claude Elwood Shannon, estudiante post-graduado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), demostró que se podría aplicar el álgebra booleana a problemas de circuitos en conmutación. Como tesis para la licenciatura en ingeniería eléctrica, Shannon publicó un trabajo titulado *Un Análisis Simbólico de Circuitos de Relé y de Conmutación*, aplicando la lógica simbólica de Boole al análisis de circuitos de conmutación y demostrando que el álgebra podía realizarse mediante relés.

En 1939, un joven ingeniero alemán llamado Konrad Zuse desarrolló el primer ordenador digital programable de propósito general: una máquina construida con relés para automatizar el proceso de cálculo de ingeniería. El mismo Zuse solicitó ayuda económica al gobierno alemán para construir un ordenador electrónico más rápido utilizando tubos de vacío. Su proyecto de dos años, que podría haber tenido numerosas aplicaciones militares, no recibió financiación. La cúpula militar alemana confiaba en que su aviación podría ganar rápidamente la guerra sin la ayuda de avanzados dispositivos de cálculo. En el mismo año, George Stibitz de los Laboratorios Bell, comenzó a diseñar un calculador de relés sin conocer el trabajo de Shannon. Fue puesto en funcionamiento en 1940 y podía realiza operaciones aritméticas con números complejos.

La tecnología del calculador universal Mark I desarrollado en la Universidad de Harvard en 1944 era totalmente electromecánica, basada en 3000 relés electromagnéticos, ruedas dentadas y embragues electromecánicos. Los relés podían abrirse o cerrarse en una centésima de segundo, tiempo difícil de reducir al involucrar dispositivos mecánicos. Estos dispositivos mecánicos aunque accionados eléctricamente, hacían un ruido *clic-clac* muy peculiar, que lo asemejaba a un grupo de mujeres haciendo punto. El Mark I podía realizar todas las operaciones aritméticas básicas y tenía secciones especiales para calcular funciones matemáticas tales como logaritmos y senos. Aunque se le denominó calculador, podía tomar un número limitado de decisiones por lo que se podía considerar, en realidad, un ordenador.

Como los ordenadores actuales disponía de dispositivos de entrada (tarjetas perforadas de Hollerith) y salida de datos (cintas de papel), unidad aritmética, unidad de control y memoria central. Entre los componentes del equipo que llevó a cabo el proyecto se debe destacar a Howard H. Aiken (1900-1973) junto con varios ingenieros de la empresa IBM. El Mark I trabajó en proyectos de balística y en el diseño de buques para la marina de los Estados Unidos, así como también para la Fuerza Aérea y para la Comisión de Energía Atómica. En 1947 se construyó una máquina de relés más rápida llamada Mark II.

La aparición de la electrónica

Pero el cambio tecnológico radical fue el uso de la electrónica, cuyo precursor fué el profesor John Vincent Atanasoff de la Universidad de Iowa junto con su compañero Clifford Berry. Su máquina de calcular, conocida como ABC (*Atanasoff-Berry Computer*), fue creada en 1939, estaba basada en el uso de tubos de vacío y operaba en binario. Su objetivo era encontrar una herramienta que ayudara a los estudiantes de postgrado a resolver largas y complejas ecuaciones diferenciales. No estaba preparada para ser programada por lo que no puede considerarse realmente un ordenador. Su universidad nunca se preocupó de patentar la innovadora máquina de Atanasoff y éste jamás pudo convertirlo en un producto totalmente operativo.

El ABC no pretendía el cálculo universal, como el ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Calculator*) desarrollado para el ejército de los Estados Unidos por el ingeniero eléctrico John Presper Eckert y el físico John W. Mauchly en la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pennsylvania, que el gran público conoció en un famoso reportaje aparecido en el diario New York Times el 16 de febrero de 1945. El ENIAC utilizaba tubos de vacío con tecnología basada en diodos y triodos. La masa del electrón es incomparablemente menor que la de cualquier elemento mecánico, las fuerzas que actúan sobre un electrón bajo la acción de un campo eléctrico, aunque éste sea muy débil, son muy importantes, por lo que se pueden conseguir aceleraciones y velocidades muy elevadas que permiten alterar el estado del circuito en millonésimas de segundo. Su velocidad de trabajo era mil veces superior a la de las máquinas electromecánicas y una hora de trabajo del ENIAC era equivalente a una semana del Mark I.

El ENIAC ya incorporaba todos los conceptos modernos sobre el ordenador tales como la unidad central de proceso, una memoria y entrada y salida de datos. A pesar de Leibnitz, el sistema decimal seguía siendo la única base del cálculo y el ENIAC

almacenaba los números de forma decimal con anillos de 10 tubos. No existía ningún giro mecánico pero se transmitía un impulso de un tubo a otro hasta completar una vuelta y entonces se producía un arrastre en el anillo siguiente: se había cambiado la tecnología pero se mantenía de alguna forma la manera de pensar. La programación del ENIAC requería, como en los equipos clásicos, todo un conjunto de conexiones sobre el tablero.

Las bases de John von Neumann

La incorporación del matemático John Von Neumann (1903-1957) al equipo de diseño hizo que la idea del programa almacenado en la memoria en formato binario junto con los datos, que hoy caracteriza al ordenador y que se conoce como arquitectura Von Neumann, se le atribuyera sólo a él, cuando es casi seguro que fue un diseño de Eckert y Mauchly al que Neumann dió forma escrita. Neumann trabajó en muchos campos de un amplio espectro de la física y de la matemática. Entre otras áreas, en grupos topológicos y topología diferencial, centrándose en los anillos de operadores, obteniendo como resultado las geometrías continuas que permiten describir espacios cuya dimensión se expresa por un número real.

Tanto el almacenamiento del programa como la utilización del sistema binario se incorporarían al diseño de la máquina EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) ideada por Neumann en 1950. Las ideas básicas en que se apoya en cálculo electrónico permanecen vigentes y se recogen en un informe titulado *Discusión Preliminar del Diseño Lógico de un Instrumento de Cálculo Electrónico* publicado por Neumann y el capitán del ejército, miembro del grupo desarrollador del ENIAC, Goldstine, en 1946.

Por su parte, en 1949 la *Eckert-Mauchly Corporation* desarrolló el primer ordenador binario automático que se bautizó como BINAC (*Binary Automatic Computer*) cuyas principales novedades fueron el uso de diodos semiconductores, el empleo de cintas magnéticas y la realización de determinadas transmisiones de señales internas en paralelo.

A partir de entonces, se abrieron dos caminos: mientras Von Neumann reclamaba la naciente informática basada en la tecnología electrónica para el cálculo científico y académico, casi siempre al servicio de proyectos militares, Eckert y Mauchly vieron pronto el potencial de mercado de la nueva tecnología y ya en 1951 comercializaron el UNIVAC I (*Universal Automatic Calculator*) que fue adquirido por las oficinas del censo norteamericano. Tan sólo dos años después se instaló en una empresa privada: la *General Electric*. Fue el primer ordenador electrónico con programa almacenado entregado a un usuario civil y establecía la viabilidad de los ordenadores comerciales. La informática comenzaba a superar su dependencia de los proyectos científico-militares que le habían dado forma.

Poco después IBM, dominadora en el campo de las tabuladoras, adoptaría la tecnología electrónica con su IBM 701, comercializado a partir de 1953, del que se hicieron 19 unidades.

Generaciones tecnológicas de ordenadores

Muy rápidamente, al instalarse este tipo de ordenadores en departamentos de universidades y laboratorios de investigación, se creó una necesidad de mayor velocidad, mayor capacidad y mayor fiabilidad que motivó un esfuerzo intensísimo por nuevos dispositivos y el desarrollo de nueva tecnología. Suele dividirse los siguientes años de historia de ordenadores digitales en diversas generaciones que corresponden con las distintas tecnologías dominantes en cada caso.

El uso de válvulas electrónicas de vacío, como en el caso del ENIAC, sustituidas posteriormente por líneas de retardo de mercurio, constituyó una primera generación de ordenadores. Además de este tipo de memorias, también se utilizaban para conservar la información las tarjetas y las cintas perforadas.

Hacia 1955, se sitúa el nacimiento de la segunda generación, caracterizada por el uso de transistores inventados en 1958 por los físicos Walter Brattain, William Shockley y John Bardeen de los Laboratorios Bell. El empleo del transistor se tradujo en la reducción del tamaño de los circuitos y en el aumento de su fiabilidad. Como elementos de la memoria principal se introdujo el uso de núcleos de ferrita. Para los sistemas de almacenamiento masivo se emplearon la cinta magnética y los tambores magnéticos.

La tercera generación se suele caracterizar por el uso de circuitos integrados: resistencias, condensadores, diodos y triodos, integrados en pastillas. A mediados de los 60, estos componentes empezarán a ser conocidos como *chips*. Este desarrollo supuso numerosas ventajas como la reducción del coste de construcción, una mayor fiabilidad, el bajo consumo y la miniaturización. Las memorias de semiconductores y los discos magnéticos son también elementos característicos de esta generación.

La cuarta generación corresponde a unos niveles de mayor densidad de integración. Surge el microprocesador: chip que incluye todos los elementos de la Unidad Central de Proceso o CPU. Aparece el disquete (*floppy disk*) como sistema de almacenamiento masivo externo.

Actualmente las divisiones no se describen por la distinta generación, sino más bien por otros conceptos distintos, como pueden ser miniordenadores, microordenadores y otros tipos dependiendo entre otros aspectos del nivel de integración.

Necesidad de los lenguajes de programación

Hasta la aparición de los circuitos integrados a gran escala, la tecnología continúa sus desarrollos a una velocidad considerable mientras el desarrollo de programas y sistemas operativos no parece alcanzar esta velocidad. Los lenguajes máquina están fuertemente relacionados con el diseño constructivo de los elementos o microcircuitos electrónicos que forma el procesador. Los programas escritos en lenguajes máquina sólo son transportables a otra máquina que posea exactamente el mismo modelo de procesador y una configuración física totalmente equivalente o compatible. Aunque se recurra a la compactación del binario a octal o hexadecimal, la programación en lenguaje máquina es tediosa exigiendo una gran minuciosidad y paciencia. Por todo lo anterior quedó claro desde la primera generación de ordenadores,

la necesidad de recurrir a lenguajes simbólicos de programación. Estos lenguajes recorren un amplio espectro, desde los ensambladores de bajo nivel, pasando por los lenguajes de alto nivel hasta los lenguajes de cuarta generación. La historia de los lenguajes de programación es relativamente corta pero extensa y prolija.

Los primeros lenguajes

Los primeros trabajos comienzan en la década de los años 50, con un compilador de lenguaje llamado A2, segunda versión de un fracasado A1, desarrollado por Grace N. Hooper (1907-1992) para UNIVAC. Se suele entender como un lenguaje de programación de propósito general, un lenguaje orientado a la selección y provisión de expresiones del máximo poder lógico, entre aquellos lenguajes en los que utilizando las técnicas de optimización habituales consiguen compilaciones que proveen un eficiente código de máquina.

El primer lenguaje de programación con estas características apareció en 1957 con el nombre de FORTRAN (*Formula Translation*) e indica el principal objetivo característica del lenguaje: la expresión clara y concisa de fórmulas y ecuaciones matemáticas de cálculo. El primer compilador constaba de 25.000 instrucciones en ensamblador. Hasta 1961 IBM mantuvo el monopolio del Fortran, pero posteriormente fue normalizado por la ANSI (*American National Standards Institute*). En 1977 apareció una extensión del lenguaje que incorpora la posibilidad de programación estructurada y que es conocido como Fortran 77.

Poco después, en 1959, apareció el lenguaje COBOL (*Common Business Oriented Language*) por iniciativa del Departamento de Defensa norteamericano. En 1960, IBM desarrolla el RPG (*Report Program Generator*) y otro equipo de matemáticos europeos y americanos el ALGOL (*Algorithmic Language*). Muchos lenguajes posteriores han aprovechado algunas de las características del ALGOL que sehan convertido en conceptos clave en la tecnología de la programación: ubicación dinámica de memoria, recursividad y estructuras en bloques y procedimientos.

En 1962 se comienza a desarrollar el PL/1 (*Programming Language Version 1*) como el primer intento de creación de un lenguaje universal. Este lenguaje reúne de alguna forma la potencialidad de gestión del Cobol, la simplicidad de cálculo del Fortran y la agilidad estructural del Algol. Entre 1963 y 1964, John Kimmey y Thomas Kurts del Dartmouth College diseñan el BASIC (*Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code*) con el objetivo de lograr un lenguaje de fácil aprendizaje que fuera aceptado por todo tipo de usuarios, independientemente del propósito del programa a implementar. En 1965, el profesor Ken Iverson de la Universidad de Harvard diseña el APL (*A Programming Language*) con propósitos exclusivamente matemáticos, orientado especialmente a cálculo matriciales y enseñanza del álgebra lineal y que incorpora funciones recursivas y funciones de formación e inversión de matrices.

El proyecto del lenguaje ADA, bautizado así en honor a Lady Ada Augusta Byron de Lovelace, nace en 1974 en una comisión interna del Pentágono como un nuevo intento de lenguaje único universal. Orientado a la multitarea, permite la programación estructurada y soporta los tipos abstractos de datos, siendo ampliamente

transportable. Su principal inconveniente es que es difícil de aprender al incorporar tantas potencialidades.

El nombre del lenguaje LISP proviene de la expresión *List Processing*. Fue diseñado en 1960 por John McCarthy del MIT como lenguaje especializado para la manipulación de datos no numéricos, cuya longitud o estructura puede ser variable. Su principal característica es la posibilidad de manejar listas de símbolos y permite representar y procesar fácilmente símbolos algebraicos, axiomas lógicos, teoremas, fórmulas, frases o proposiciones, lo que le hace uno de los lenguajes preferidos para la inteligencia artificial. De características análogas al LISP es el lenguaje PROLOG (*Programming in Logic*) diseñado en 1970 por Alain Colmerauer. También con antecedentes en el LISP, surge el lenguaje SMALLTALK ideado por el estudiante de la Universidad de Utah, Alan Kay, con el objetivo inicial de analizar la capacidad lógica de los niños.

PASCAL Y C

El nombre de PASCAL para el lenguaje concebido en 1970 por el profesor Niklaus Wirth de la Universidad de Viena, es un homenaje al matemático y filósofo francés Blaise Pascal. Intentó crear un lenguaje con fines docentes, sencillo y transportable y que aplicara los principios de la programación estructurada. Ha tenido una gran aceptación y difusión, en parte, gracias a su aptitud para la expresión de algoritmos en los que intervienen estructuras de datos complejas.

El lenguaje C, diseñado a principios de los 70 por los Laboratorios Bell, estaba pensado inicialmente para codificar el sistema operativo UNIX y poder transportarlo de un ordenador a otro, teniendo que programar en la nueva máquina únicamente el núcleo más interno en lenguaje ensamblador. Es un lenguaje estructurado con características parecidas al Pascal, pero a diferencia de éste, une los aspectos más deseables de un ensamblador con las ventajas de universalidad, legibilidad y transportabilidad de un lenguaje de alto nivel. Es un buen lenguaje tanto para la programación de sistemas como para la programación de aplicaciones. La gran aceptación del lenguaje C y de UNIX como un entorno completo, convierten al C en uno de los lenguajes con mayor proyección.

Lenguajes de programación específicos

Además de las distintas clases de lenguajes de propósito general mencionados, existen otro tipo de lenguajes de propósito específico o especial, dirigidas hacia unas aplicaciones específicas, que están estructuralmente afectados por los requisitos de las aplicaciones hacia los que están orientados. La estructura semántica de estos lenguajes define un marco lógico, en el que cada proceso y objeto del área en que nos movemos puede describirse fácil y rápidamente, al mismo tiempo que la sintaxis del lenguaje permite que las expresiones utilizadas en este campo tengan una distorsión mínima. Cuando se intenta desarrollar un lenguaje para un área especial, se debe prestar mucha atención a las invenciones sintácticas y semánticas. Se han desarrollado lenguajes de este tipo en áreas muy diversas como grafismo y animación, control de máquinas, ingeniería civil, ingeniería eléctrica, simulación de sistemas continuos, simulación de sistemas discretos, definición e implementación de sistemas operativos, sistemas de

control en tiempo real, diseño de computadores, enseñanza, compilación y procesamiento de lenguajes, manipulación de archivos y bases de datos o cálculo simbólico.

Sistemas operativos

El diseño de un sistema operativo es una tarea difícil y compleja ya que supone un conocimiento íntimo del hardware de la máquina. Los sistemas operativos varían mucho dependiendo del tipo de ordenador en el que operan, el rango de complejidad de las funciones que se le piden, el grado de adaptación a los problemas de usuario y el conjunto de lenguajes de programación que soportan. Lógicamente, la tendencia es tener sistemas operativos que no dependan del tipo de ordenador ni del procesador utilizado.

En este sentido, constituyó un hito histórico el CP/M de Digital Research común a una gran variedad de ordenadores personales. Los primeros sistemas operativos fueron desarrollados en 1955 para reducir el tiempo de espera de la unidad central de proceso entre dos trabajos consecutivos. En la primera generación al sistema operativo se le exigía únicamente ayudas en las operaciones de entrada y salida de datos y en las traducciones de lenguajes ensambladores. Con la segunda generación se desarrollan los soportes de tipo magnético y la gestión optimizada de datos. En la tercera generación se incrementan las velocidades de los periféricos y se introducen los canales para manejarlos a nivel físico, en forma independiente de la unidad central. Nace el concepto de multiprogramación, tiempo real y tiempo compartido, el teleproceso, las redes de computadores y la inteligencia distribuida. La cuarta generación está marcada por la potencialidad del sistema personal como terminal inteligente de acceso a una red de computadores o a un macrocomputador o *host*. Es el momento del gran impulso de las redes locales y de las bases de datos relacionales distribuidas. Nacen los lenguajes de cuarta generación y se apunta hacia la quinta generación de ordenadores, la inteligencia artificial y los sistemas expertos.

La microinformática

En 1971 surge el primer microprocesador de una forma un tanto inesperada. En Intel 4004 nace como consecuencia del proyecto desarrollado para obtener una calculadora universal planteado por la empresa japonesa Busicom. Finalmente, ésta declinó adquirir el nuevo chip, el primero que integraba todos los elementos de un procesador.

La empresa francesa REE (*Realisations et Etude Electroniques*) presenta en 1972 el Micral, el primer ordenador construido en torno a un microprocesador, el Intel 8008, con tecnología de ocho bits. Debido al desconocimiento de éste en los Estados Unidos, el primer microordenador se suele atribuir erróneamente al Altair, producido por la compañía MITS de Albuquerque de Nuevo México y comercializado en kit a partir de 1974 en anuncios de la revista norteamericana *Popular Electronics*.

La compañía de ordenadores Apple despegó definitivamente produciendo la siguiente generación de su computadora Apple II. El mismo año aparecen el TRS-80 de Radio Shack y el PET 2001 de Commodore. Rank Xerox demostró poca visión de

futuro cuando decidió no emplear la nueva interfaz WIMP (*windows, icons, mouse y pop-up menus*), desarrollada en los setenta en su centro de Palo Alto. Años después, esta interfaz pasó a ser el alma del nuevo ordenador LISA de Apple en 1982, que ya incluía un ratón, aunque su éxito definitivo no llegó hasta dos años más tarde con el Macintosh.

Por otro lado, la dominadora del mercado informático mundial, IBM, se atrevió a entrar en 1981 en el mundo de los microinformática con su IBM PC. La configuración estándar original incluía el procesador 8088 de Intel, 16KB de memoria principal, un teclado y un puerto para conectar un cassette. Como monitor se utilizaba un aparato de televisión. La improvisación le obligó a adoptar una arquitectura abierta y esto favoreció el actual dominio del PC en el mercado, al que tanto debe hoy la empresa proveedora de su primer sistema operativo: Microsoft con el D.O.S. o *Disk Operating System*. Sin embargo, Microsoft no alcanzó las funcionalidades del Macintosh hasta 1991 con Windows 3.1.

La proliferación de PCs permitió el nacimiento y difusión de los nuevos virus informáticos que, inspirados en el concepto de los autómatas reproducibles que había teorizado Von Neumann en los años cuarenta, hoy se han convertido en un problema para los usuarios de la microinformática. Se suele considerar que el *Brain* de 1985 de origen pakistaní es el primero de los virus informáticos, que hoy se cuentan por millares. En el entorno de UNIX e Internet se hizo famoso el gusano que Robert Morris Jr. soltó y que colapsó la red el 2 de noviembre de 1988.

Inteligencia artificial

El desarrollo de la Inteligencia artificial se inicia con los deseos de Charles Babbage de que su máquina analítica sea capaz de resolver juegos como el ajedrez. En este sentido, la Inteligencia artificial es un intento de diseñar máquinas que piensen, aprenden y creen de tal forma que la capacidad para realizar estos actos se incremente hasta que consiga tratar problemas de la misma categoría que los que trata la mente humana.

Se pueden encontrar las bases de la Inteligencia artificial en tres artículos publicados hacia 1944. En el primero de ellos, Wiener, Rosenbluth y Bigelow del MIT, sugieren distintas formas de conferir fines y propósitos a las máquinas. En el segundo, McCulloch y Pitts del MIT, describen cómo las máquinas pueden emplear los conceptos de la lógica y la abstracción y cómo cualquier ley de entrada-salida puede modelizarse como una red neuronal. En el tercero, Craik de la Universidad de Cambridge proponen que las máquinas usen modelos y analogías en la resolución de problemas.

Habría que esperar hasta los años 50 para que se comenzaran a aplicar estas teorías a campos como la demostración automática de teoremas, aprendizaje del juego de las damas, razonamientos de sentido común, problemas de geometría plana donde se aplicaran técnicas de razonamiento analógico y reconocimiento de formas. Aparecerían enseguida dos escuelas con dos tendencias distintas, en la primera aplicando el modelo de simulación y en la segunda el modelo de ejecución. Los representantes de la primera escuela pretenden emular el cerebro, incluyendo su estructura mientras que los de la segunda escuela buscan crear sistemas que se comporten de tal forma que, si los llevara a cabo una persona la consideraríamos como inteligente. Estos dos enfoques cubren los

objetivos prioritarios de la Inteligencia artificial: entender la inteligencia natural humana y usar máquinas para adquirir conocimientos y resolver problemas considerados intelectualmente difíciles.

La primera conferencia sobre estos temas se organiza en 1956 en el Dartmouth College en Hanover, New Hampshire (EEUU). En ella, se reúnen distintos expertos, entre los que se encontraban como organizadores John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Shannon y en donde se acuña por primera vez el término inteligencia artificial. Uno de los problemas principales de la Inteligencia artificial es la representación del conocimiento. Esta representación debe ser lo suficientemente rica para que permita el uso práctico y lo suficientemente sencilla para poder procesarla en un ordenador.

El método de representación del conocimiento más satisfactorio consiste en emplear tres niveles. En el nivel más bajo se encuentran las asociaciones entre objetos, este tipo de asociaciones se denominan proposiciones mientras que las relaciones se denominan predicados. El segundo nivel de representación del conocimiento lo constituyen conjuntos de reglas que conectan las proposiciones en las que las reglas se manipulan mediante un conjunto general de reglas de inferencia. El tercer nivel de conocimiento lo constituye la estrategia que controla la aplicación de las reglas de inferencia. Con el uso de técnicas computacionales como el procesamiento de listas y reglas heurísticas del tipo que utilizamos los humanos, se han conseguido programar aplicaciones de inteligencia artificial en multitud de áreas tan variadas como, el reconocimiento del lenguaje natural, el reconocimiento de imágenes, la síntesis de imágenes, la síntesis y reconocimiento de voz, los sistemas expertos en muy diversos campos y la visión artificial entre otras.

Internet

Junto a las diversas redes informáticas casi siempre centralizadas que proponían los constructores clásicos con IBM a la cabeza, al final se ha impuesto lo que en 1969 fue la incipiente red descentralizada ARPANET, al servicio de proyectos militares. En 1982 se decidió usar para esa red el protocolo de comunicaciones TCP/IP desarrollado en 1979 por Vinton Cerf. Con el tiempo y la fusión con otras redes nació de ahí Internet.

En los años ochenta, Internet se usaba en ámbitos académicos y militares para correo electrónico, transmisión de archivos (FTP) o grupos de discusión (*news*), pero la verdadera aplicación que revolucionaría su uso no llegó hasta 1990 con el servicio *World Wide Web*, diseñado por Tim Berners-Lee y Roger Cailliau del CERN de Ginebra, para ayudar a mantener una red de hipertexto informativa.

Para acceder a la información en el nuevo mundo del hipertexto, difuso en diversas máquinas, Marc Andreessen puso en circulación el Mosaic, el primer navegador por la WWW en 1993 y al año siguiente fundó la empresa Nestcape, que comercializó su navegador en 1994, el programa que afianzó el uso público de Internet en 1995.

Estructura de datos y algoritmos

En palabras de Wirth, en el prólogo de su obra: *Los temas de composición de programas y estructuras de datos están inseparablemente ligados. No obstante, este libro comienza con un capítulo sobre estructuras de datos por dos razones. La primera, porque se tiene la idea intuitiva de que los datos son previos a los algoritmos; en efecto, es preciso tener primero unos objetos antes de operar con ellos. La segunda y más importante, porque este libro parte de la hipótesis de que el lector está familiarizado con las nociones básicas sobre la programación de computadores. Tradicionalmente, y con buen sentido, sin embargo, los cursos de introducción a la programación se concentran en algoritmos que operan sobre estructuras de datos relativamente simples. Por ello, ha parecido apropiado en este libro un capítulo introductorio sobre estructuras de datos.* Knuth es todavía más rotundo: *El objeto fundamental de los programas son los datos. Generalmente los datos no son una simple colección de información sin ninguna relación entre ellos sino que involucran importantes relaciones estructurales.*

Primeras estructuras

Desde la aparición de los primeros ordenadores se han utilizados tabla y listas lineales como estructuras soporte de los datos, el almacenamiento de estas estructuras se hacía en direcciones adyacentes de memoria. Paralelamente a la utilización de estas estructuras se construyeron los algoritmos básicos para el tratamiento de listas y tablas (von Neumann). Las listas de longitud variable fueron estudiadas por Zuse, quién desarrolló los primeros algoritmos triviales que trabajaban con estructuras dinámicas. Antes de la utilización de registros índice, las operaciones con listas lineales secuenciales se hacían mediante cálculos aritméticos escritos con las instrucciones de lenguaje máquina, siendo este tipo de operación una de las razones que motivó el que los programas compartieran la memoria del ordenador con los datos que manipulaban. Las técnicas que permitían listas lineales de longitud variable compartiendo direcciones secuenciales, de modo que retrocedieran o avanzaran cuando fuera necesario fueron aparentemente una invención más tardía. J. Dunlap desarrolló estas técnicas en 1963 en conexión con el diseño de programas compiladores; aproximadamente al mismo tiempo apareció independientemente en el diseño de un compilador de COBOL y se utilizó una colección de tales subrutinas (CITRUS) en varias instalaciones. Las técnicas permanecieron sin publicar hasta que se desarrollaron por Jan Garwick en 1964.

La idea de tener listas lineales en direcciones no secuenciales se originó en relación con el diseño de ordenadores con memorias de tambor magnético. En este caso, el ordenador puede operar más rápidamente si las instrucciones están asignadas óptimamente en vez de consecutivamente. El diseño de ordenadores con este tipo de direccionamiento (llamado *uno más uno*) es aparentemente la primera aplicación de la idea de lista encadenada en los programas, aunque las operaciones de inserción y eliminación dinámica no eran conocidas. Otra aparición de los enlaces en los programas se debe a H.P. Luhn que sugiere el uso del encadenamiento para el caso de búsquedas externas.

Las técnicas de enlaces en la memoria nacen en 1956 con las investigaciones para la resolución de problemas heurísticos con ordenador realizadas por Newell, Shaw

y Simon, al diseñarse y construirse el primer lenguaje de proceso de listas IPL-II. Este lenguaje, junto a una segunda versión, el IPL-III, utilizaba enlaces e incluía el concepto de lista de espacio disponible, que daría lugar al de pila, así como importantes operaciones básicas como la inserción y la eliminación en una pila. Las técnicas de los trabajos de Newell, Shaw y Simon se constituyeron en los instrumentos básicos en la programación de ordenadores. En 1959, J.W. Carr es la primera persona con la idea de manipular listas enlazadas mediante lenguajes ordinarios de programación sin necesidad de rutinas complicadas, ni de sistemas interpretativos.

Los conceptos de pila y de cola aparecieron inicialmente en otras áreas distintas de las Ciencias de la Computación, en concreto, en Contabilidad, en Gestión de Inventarios... Pero es en 1947 cuando Turing desarrolla una pila, llamada Almacenamiento inverso, para enlazar las subrutinas de un programa. La utilización de pilas almacenadas secuencialmente fue muy generalizada en programación de ordenadores, por la simplicidad de esta estructura. La implementación de las pilas en forma enlazada se realizó por primera vez en el lenguaje IPL proviniendo de dicho lenguaje el término pila. El origen de las listas circulares y doblemente enlazadas no está claro y las ideas fundamentales acerca de las técnicas asociadas a ellas aparecen publicadas en los trabajos de Weinzenbaum.

Árboles

La manipulación de fórmulas algebraicas ha sido la primera aplicación que utilizó las estructuras de tipo árbol. El concepto de árbol como entidad matemática formalmente definida fue utilizado originariamente por G. Kirchoff en 1847. Empleó árboles libres para hallar un conjunto de ciclos fundamentales en un circuito eléctrico con la ley que lleva su nombre. En la misma época también aparece el concepto de árbol definido en el libro *Geometrie der Lage* de K.G. von Staudt. El término *árbol* y muchas de las propiedades de esta estructura se deben a A. Cayley que, sin conocer las investigaciones de Kirchoff y de Staudt describió formalmente un gran número de propiedades de los árboles, motivado al estudiar la estructura de fórmulas algebraicas y tratar de aplicarlas al problema de los isómeros de química. Los árboles así como otras muchas estructuras combinatorias fueron estudiadas en 1937 por G. Polya. En 1952, Kahrimanian, pionero del cálculo simbólico, desarrolló algoritmos para diferencias fórmulas algebraicas representadas en un código de tres direcciones. Desde entonces, se han estudiado las estructuras de árbol de distinta forma e independientemente por diferentes personas en relación con numerosas aplicaciones, pero es difícil encontrar publicadas las técnicas básicas de gestión de estas estructuras, ya que sólo aparece la descripción detallada de algunos algoritmos.

Algoritmos de ordenación

El diseño y desarrollo de algoritmos tiene un origen asociado al de numerosas disciplinas (la Matemática, la Física...) ya que la construcción progresiva de la solución a un problema está intrínsecamente ligada a la naturaleza de muchas ciencias. La aplicación de las facilidades de las máquinas automáticas a los algoritmos coincide con la aparición de las primeras máquinas para ordenar o clasificar. Las dificultades en la elaboración del censo de los Estados Unidos, motivó que un empleado de la oficina del censo, Hollerith, inventara una máquina eléctrica tabuladora para satisfacer las

necesidades existentes de reunir datos estadísticos. Fue entonces cuando comenzaron a desarrollarse las primeras técnicas de clasificación actuales. La máquina de clasificar de H. Hollerith es la base para los métodos de clasificación *radix* que se emplean actualmente en los ordenadores digitales.

Al aparecer en escena los ordenadores, la clasificación estuvo íntimamente ligada a este desarrollo. De hecho, el primer programa que se escribió para un ordenador con memoria fue una rutina de clasificación. Los diseñadores del EDVAC estaban interesados en la clasificación de manera especial ya que este tipo de procesos era indicador del potencial del ordenador en el campo de las aplicaciones no numéricas. Desde los procedimientos de solución a un sistema de ecuaciones hasta la toma de decisiones combinatorias en los algoritmos (de grafos, geométricos...) se optimizan notablemente cuando se dispone de una buena rutina de clasificación. Como consecuencia, uno de los estándares que determinan la eficiencia de un procesador utiliza algoritmos de clasificación.

En 1945 Zuse desarrolló un programa de clasificación por inserción directa como uno de los ejemplos más simples de operaciones de listas lineales. Se construyeron simultáneamente algoritmos para la clasificación interna y externa puesto que la memoria interna de los primeros ordenadores era un recurso escaso. En 1946, John Mauchly señaló la posibilidad de utilizar dispositivos de cinta para simular el funcionamiento de un equipo de tarjetas y así imprimir mayor velocidad en los procesos de clasificación. Él mismo fue el primero en hacer notas que las máquinas capaces de llevar a cabo procedimientos matemáticos complejos tenían la habilidad de clasificar y ordenar datos y demostró que la clasificación podía ser útil en relación con los cálculos numéricos. A partir de este momento se desarrollaron los algoritmos de clasificación binaria y por inserción directa.

Se han hecho numerosos estudios sobre clasificación. Los más relevantes son el de J.C. Hosken en 1955, el realizado por E.H. Friend en 1956 titulado *Sorting on Electronic Computer System* con descripción detalladas de muchos algoritmos de ordenación interna y externa, introduciendo nuevos métodos como la selección en árbol. Y por último, el estudio de clasificación preparado por D.W. Davies en 1956. A partir de entonces se fueron descubriendo nuevos métodos de clasificación: cálculo de dirección (1956), inserción por intercalación (1959), radix por intercambio (1959), clasificación por disminución de Shell (1959), *Quicksort* de Hoare (1962), *Heapsort* de Williams (1964)...

El futuro

Parece que la tendencia general parece que se orienta hacia lo que se denomina ya la informática ubicua, con sistemas que incluyen capacidad de proceso en muchos dispositivos que, por su número y ubicuidad, pronto van a dejar de ser considerados como ordenadores. Probablemente, esa ubicuidad informática vaya aparejada a un mayor uso de la voz y del sonido como elementos base para la interfaz con los sistemas. Consecuentemente, habría una lenta sustitución de los sistemas gráficos que están en la base de la tecnología WIMP, que requieren una atención visual directa. Por otra parte, tras el espectacular crecimiento de Internet, es de prever que la verdadera sociedad de la información no va a estar accesible hasta que esta Internet incipiente establezca sus

funcionalidades y descubra todos los usos posibles que tal vez hagan cierta esa idea tantas veces repetida de la sociedad de la red. De momento, siendo realistas, Internet, sólo afecta a una fracción minoritaria de los 6.000 millones de habitantes del planeta.

Perspectiva histórica de los estudios de Informática

Aunque las primeras computadoras electrónicas fueron desarrolladas en ambientes universitarios, hasta mediados de la década de los 50 no aparecen los primeros centros de computación universitarios. Estos centros estaban adscritos generalmente a departamentos de matemáticas o ingeniería y servían de soporte a la investigación de los mismos.

Los primeros programas académicos en instituciones superiores de educación aparecieron a mediados de la década de los 50. Su principal orientación era la formación de usuarios de computadoras y por ello su contenido consistía en temas relacionados con el manejo de equipos. Entre estos centros cabe destacar las universidades de Michigan, Houston, Stanford y Purdue. En Europa, la educación en informática se desarrolló de forma más o menos simultánea. Algunas de las primeras computadoras fueron instaladas, e incluso construidas en las propias universidades con el fin de servir a los propósitos de investigación de los diferentes departamentos.

La primera computadora instalada en España fue una IBM 650 en la compañía Telefónica en el año 1958. En 1962 empezaron a introducirse las primeras computadoras en empresas privadas. En esta época, la enseñanza del manejo y fundamentos de estas máquinas corrió a cargo de las propias empresas. En el año 1969 comienza de manera oficial la enseñanza de la Informática en España con la creación del Instituto de Informática en Madrid donde se imparten unos estudios de cinco años. A finales de los años 70 se empiezan a impartir Estudios Superiores de Informática en la Universidad. Estos fueron concebidos como diplomaturas y licenciaturas. Hace algunos años, según las directrices del entonces Ministerio de Educación y Ciencia sobre nuevas titulaciones, se han reconvertido las titulaciones a ingenierías técnicas y superiores. De forma paralela a la creación de estudios específicos de informática, en los planes de estudios de otras carreras de corte científico y tecnológico han ido apareciendo asignaturas relacionadas, en mayor o menor grado, con las Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial.

Informe curricular ACM-IEEE

Para establecer las directrices generales propias de los planes de estudio de las Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial puede atenderse a uno de los documentos más relevantes en cuanto a la definición de los currícula en el ámbito de la informática, y que, de hecho, ha tenido una gran repercusión en la elaboración de los planes de estudios de computación: *ACM-IEEE Computing Curricula 1991*. Este documento fue el resultado del trabajo desarrollado por un grupo conjunto de expertos de las organizaciones internacionales ACM (*Association for Computing Machinery*) y IEEE (*International Electrical and Electronics Engineers*) con la finalidad de establecer una serie de recomendaciones relacionadas con el diseño e implantación de un curriculum de primer y segundo ciclo de estudios relacionados con la informática. Entre

otras recomendaciones, el informe establece una serie de bloques o áreas temáticas en las que se organizan los contenidos propuestos a modo de curriculum introductorio a unos estudios de informática:

- Algoritmos y estructuras de datos. Esta área trata de clases específicas de problemas y sus soluciones eficientes. Incluye las características de desarrollo de algoritmos y la organización de los datos en función de los diferentes requisitos de acceso.
- Arquitectura de los ordenadores. Estudia los modelos eficientes de organización de sistemas computacionales englobando la implementación de procesadores, memoria, comunicaciones e interfaces de usuario así como el diseño y control de grandes sistemas computacionales.
- Bases de datos y sistemas de información. Este área comprende la organización de la información y los algoritmos para el acceso eficiente y la actualización de la información almacenada. Abarca el modelado de las relaciones entre los datos, la seguridad y protección de la información en un entorno compartido y las características de los dispositivos de almacenamiento externo.
- Computación numérica y simbólica. Este capítulo se centra en los métodos generales para la resolución de ecuaciones de modelos matemáticos empleando los ordenadores de forma eficiente y precisa.
- Comunicación hombre-máquina. Se focaliza en la transferencia eficiente de información entre los seres humanos y las máquinas. Comprende los gráficos, los factores humanos que intervienen en la interacción y la organización y visualización de la información para su efectiva utilización por los humanos.
- Sistemas operativos. Este bloque temático trata de los mecanismos de control que permite coordinar de forma eficiente múltiples recursos durante la ejecución de los programas. Comprende los servicios adecuados para los requerimientos de los usuarios, las estrategias de efectividad para el control de recursos y la organización efectiva para posibilitar la computación distribuida.
- Inteligencia Artificial y Robótica. Trata de los modelos básicos de comportamiento y la construcción de máquinas (virtuales o reales) para simular el comportamiento humano y animal. Incluye el estudio de la inferencia, la deducción, el reconocimiento de patrones y la representación del conocimiento.
- Lenguajes de Programación. Este bloque analiza el diseño de notaciones para definir máquinas virtuales que ejecutan algoritmos, la traducción eficiente de lenguajes de alto nivel a código máquina y los diferentes mecanismos de extensión que pueden implementarse en los lenguajes de programación.
- Metodología e Ingeniería del software. Este último área incluye la especificación, diseño y desarrollo de grandes sistemas de software que sean seguros y de fácil implementación y mantenimiento.

Con algunos complementos, como pueden ser aspectos propios de las redes de computadores o los sistemas informáticos, se trata de contenidos similares a los que se consideran actualmente como materias troncales para la elaboración de planes de estudio destinados a la obtención del título de Ingeniero en Informática (R.D. 1459/1990 de 26 de octubre de 1990). Estas áreas se subdividen a su vez en lo que se

denominan "unidades de conocimiento" destinadas a facilitar la construcción de cualquier modelo curricular. Las recomendaciones incluidas en este informe fueron revisadas por decenas de educadores y expertos, presentadas en numerosos foros y constituyen una referencia fundamental de muchos curricula de estudios de informática en universidades de todo el mundo.

Bibliografía

- ACM/IEEE-CS Joint Curriculum Task Force, *Computing Curricula 1991 Report*, Diciembre, 1990
<http://www.computer.org/education/cc1991/>
- Beekman, G., *Computación & Informática Hoy*, Addison Wesley, 1995
- Corchado, J.M. *Proyecto Docente*, Universidad de Salamanca, 1998
- De Miguel, P. *Fundamentos de los Computadores*, Ed. Paraninfo, Madrid, 1992
- García-Beltrán, A. *Proyecto docente*, Universidad Politécnica de Madrid, 2000
- Giarratano, J.C. *Los Ordenadores. Fundamentos y Sistemas*, Díaz de Santos, 1984
- Knuth, D.E. *El Arte de Programar Ordenadores*, Vol. 1. Algoritmos Fundamentales, Ed. Reverté, 1986
- Martínez, R. *Proyecto docente*, Universidad Politécnica de Madrid, 1993
- Ureña, L.A., Sánchez, A.M., Martín, M.T. y Mantas, J.M. *Fundamentos de Informática*, RA-MA, 1997
- Wirth, N. *Algoritmos + Estructuras de Datos = Programas*, Ediciones del Castillo, Madrid, 1986