
Evolución de los computadores

En este apartado vamos a describir la evolución de los computadores, remontándonos a las primeras máquinas de calcular, que surgen como respuesta a la necesidad que el hombre siempre ha tenido de instrumentos para hacer cálculos y procesar información de forma rápida, y que podemos considerar como el origen de los actuales computadores. Después haremos un recorrido histórico por las distintas generaciones de computadores, como tradicionalmente se han establecido en el estudio de la evolución de la informática.

1.- Orígenes

Hasta llegar a las máquinas calculadoras electrónicas, como ha sido normal en las aplicaciones de la tecnología a diversos aspectos de la actuación humana, se ha tenido que pasar por una etapa de máquinas de calcular mecánicas y una segunda etapa donde se desarrollaron máquinas de calcular electromecánicas.

El origen de las máquinas de calcular se suele poner en el ábaco que tuvo su origen en Asia, donde todavía es usado, hace más de 2.500 años. Otro acontecimiento importante en el campo del cálculo es el descubrimiento del logaritmo por Neper en 1.614, por medio del uso de logaritmos podemos transformar problemas de multiplicaciones difíciles en problemas más fáciles realizados por medio de sumas. Neper diseñó un sistema de tablillas (rodillos de Neper) que proporcionaban de manera mecánica la solución a este tipo de problemas.

Blaise Pascal a la edad de 18 años inventó una máquina de calcular basada en ruedas dentadas para ayudar a su padre, que era recaudador de impuestos, a cumplir con sus deberes. La máquina usaba 8 ruedas dentadas y realizaba sumas en base 10.

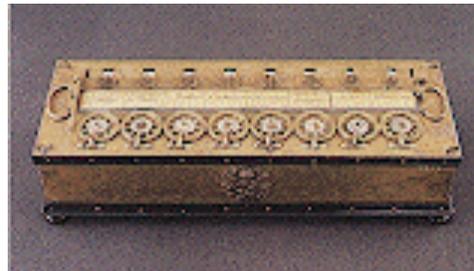


Figura 1: Máquina de Pascal.

El matemático y filósofo alemán Gottfried Leibniz (1.646-1.716) mejoró la máquina de Pascal creando una máquina capaz de realizar las cuatro operaciones elementales. Fue denominada calculadora universal, su elemento característico es un tambor cilíndrico con nueve dientes de longitud variable llamada rueda escalonada, que se encuentra prácticamente en todas las calculadoras mecánicas posteriores. De esta máquina se llegaron a construir 1.500 unidades. El francés Charles Xavier Thomas de Colmar diseñó un modelo de esta máquina capaz de ser producido a bajo coste y a escala industrial.

Charles Babbage (1.792-1.871), matemático e ingeniero inglés, impresionado por la cantidad de errores que encontró mientras examinaba los cálculos de la *Royal Astronomical Society*, de la que era miembro fundador, presentó en 1.822 la primera versión de su “máquina de diferencias”. Construida a partir de ruedas giratorias, funcionaba por medio de una simple manivela. Podía calcular funciones de segundo grado con una precisión de seis cifras, e imprimirlas a razón de 44 cifras por minuto.

Subvencionado por el gobierno británico se puso a construir una “segunda máquina diferencial” que le mantuvo ocupado durante diez años (1.823-1.833), pero cuando tenía una idea más o menos desarrollada, concebía nuevas ideas con posibles mejoras, de modo que rechazaba lo hecho anteriormente. De esta manera, el presupuesto para su construcción fue superado continuamente, lo cual condujo finalmente a la paralización del proyecto. La nueva máquina debería haber calculado funciones de sexto grado con una precisión de dieciocho cifras.

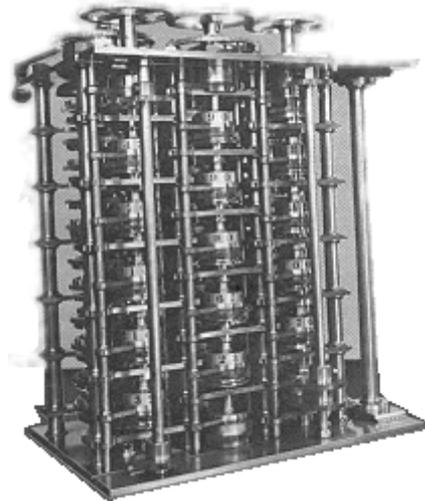


Figura 2: Máquina de diferencias.

En torno a 1.833, Babbage decidió embarcarse en la construcción de una máquina de propósito general a la que denominó “máquina analítica”. La máquina, movida por vapor, debía ser capaz de realizar cualquier tipo de cálculo mediante un programa adecuado. Sus elementos fundamentales serían: una memoria para 1.000 números de 50 cifras, una unidad aritmético lógica para los cálculos, una unidad de control para la realización de las operaciones en el orden correcto, lectoras de fichas perforadas para la introducción de datos y una impresora para salidas de resultados.

La programación de la máquina analítica correría a cargo de Augusta Ada Byron, condesa de Lovelace e hija del poeta Lord Byron. Augusta publicó una serie de programas para resolver ecuaciones transcendentales e integrales definidas, en estos programas se hacía uso de bifurcaciones. Como primera programadora de la historia el departamento de Defensa de EE.UU. Denominó con el nombre de Ada un lenguaje de programación en honor a ella.

La máquina analítica nunca fue construida debido a la imposibilidad de conseguir la de precisión necesaria en algunas de sus piezas.

En 1.989 el inventor americano, hijo de inmigrantes alemanes, Herman Hollerith construyó un tabulador estadístico para la realización del censo de los Estados Unidos. Para el censo anterior en 1.880 se habían necesitado cerca de siete años, dado el aumento de población los encargados del censo pensaban que el nuevo censo necesitaría de 10 años. El método de Hollerith consistió en usar tarjetas perforadas para almacenar la información en la máquina que compilaría los resultados mecánicamente. Cada perforación en la tarjeta representaba un número y la combinación de dos perforaciones representaba una letra. En una tarjeta se podían almacenar hasta 80 variables. La evaluación del censo duró seis semanas en la máquina de Hollerith.

Hollerith fundó la compañía *Tabulating Machine Company* en 1.896 para la explotación de su invento, más tarde esta compañía se convertiría en *International Business Machines (IBM)* en 1.924.

En esta época surgieron también otras compañías dedicadas a las aplicaciones de las tarjetas perforadas como Burroughs o Reminton-Rand Corporation que años más tarde construyeron los primeros ordenadores Univac.

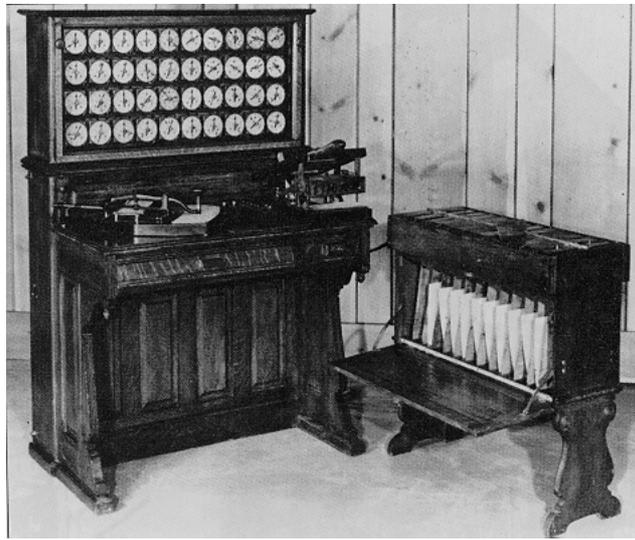


Figura 3: *Tabulador de Hollerith.*

En los siguientes años varios ingenieros realizaron avances significativos. Vannervar Bush (1.890-1.974), gracias a las inquietudes de su alumno Claude Shannon por relacionar las teorías algebraicas y sus aplicaciones prácticas, desarrolló un calculador para resolver ecuaciones diferenciales en 1.931. Esta máquina fue la primera en resolver complejas ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento de objetos móviles tales como aviones, etc. Estas ecuaciones podían suponer para los ingenieros meses de cálculos manuales.

Posteriormente en Iowa State College (ahora llamado Iowa State University) John Vincent Atanasoff (nacido en 1.903) y uno de sus estudiantes, Clifford Berry, previeron un computador completamente electrónico que aplicara el álgebra Boole, desarrollada por George Boole (1.815-1.864), a los circuitos computacionales. Su primer trabajo para concretar este proyecto fue un sumador de 16 bits, ésta fue la primera máquina de calcular que usó tubos de vacío. Después, entre 1.939 y 1.942, diseñaron una calculadora de propósito general para resolver problemas de ecuaciones lineales simultáneas, llamada posteriormente "ABC" (Atanasoff-Berry Computer), esta máquina poseía una memoria formada por condensadores de 60 palabras de 50 bits, es la primera máquina con memoria regenerativa [Burk87].

En 1.936 Konrad Zuse se dedicó íntegramente al proyecto de desarrollar una máquina computadora construida por medio de circuitos con relés. Su primer desarrollo se conoce con el nombre de Z1 al que se le había dotado de un teclado para introducir los problemas al computador. En un segundo desarrollo denominado Z2 Zuse descubre la cinta perforada como un método para la programación del sistema.

2.- Primera generación: las válvulas (1.945-1.955)

Precursores

La llegada de la Segunda Guerra Mundial provocó un impulso sin precedentes en el desarrollo de la tecnología de los computadores. Una total movilización de la industria y de la ciencia para la fabricación de armas convencionales y el desarrollo de la tecnología necesaria para el diseño de armas nuevas, fue el acicate para la inversión de grandes recursos en este campo haciendo posible el nacimiento de los primeros grandes computadores.

Una de las primeras iniciativas partió de la asociación de IBM y la Marina Americana que decidieron invertir en el proyecto de Howard Aiken (1.900-1.973). El proyecto consistía en construir un computador programable para todo tipo de fines al estilo de la máquina de Babbage. El resultado del proyecto fue el computador **Mark I** en 1.943, este computador estaba basado en el sistema decimal, poseía entrada de datos por medio de cartones perforados y manipulaba números de 23 dígitos. Realizaba operaciones de suma y resta en tres décimas de segundo y multiplicaciones en tres segundos. El Mark I estaba basado en relés tenía más de 750.000 piezas y 800 Km de cable. Al Mark I le siguieron el Mark II en 1.947 y el Mark III en 1.949.

Por el otro lado, en Alemania, Konrad Zuse abrió el camino con su Z1 y Z2, su sucesor, el Z3, consistió en un computador operacional controlado por programa y basado en el sistema binario, era una máquina mucho menor y más barata que la diseñada por Aiken. Tanto el Z3 como el Z4, su sucesor, fueron usados para resolver problemas de ingeniería de aeronaves y proyectos de misiles.

Un proyecto británico dio lugar a Colossus, considerado como el primer computador electrónico: usaba 2.000 válvulas electrónicas. Colossus fue desarrollado por un grupo de científicos ingleses del *Bletchley Research Establishment*, entre los que se encontraba Alan Turing. Entró en servicio en el año 1.943 y ayudó a descifrar el código “Enigma” de los alemanes, lo que pesó decisivamente en el curso de la Segunda Guerra Mundial.

El impacto de Colossus en el desarrollo de los computadores industriales fue muy limitado por dos razones: Colossus no fue un computador de propósito general puesto que estaba dedicado, y por tanto construido, para descifrar mensajes y la existencia de esta máquina permaneció en secreto hasta décadas después de terminada la guerra.

El primer computador electrónico de propósito general

La necesidad de nuevas tablas de tiro por parte del ejército americano dio lugar al que se considera como el primer computador de propósito general, totalmente electrónico: el ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Calculator*), construido entre 1.943 y 1.946 bajo la dirección de John W. Mauchly y J. Presper Eckert de la “*Moore School of Engineering*” de la Universidad de Pennsylvania y financiado por el “*Ballistic Research Laboratory de Aberdeen Proving Grounds*”, en Maryland. Contenía unas 18.000 válvulas, pesaba alrededor de 30 toneladas, ocupaba una extensión de 140 metros cuadrados y consumía más de 150 KW, por lo que necesitaba ventilación forzada para poder disipar la gran cantidad de calor que producía.

El procesador ENIAC disponía de una estructura de 20 registros, cada uno de 10 dígitos decimales, para almacenar variables, más 312 palabras de memoria de “sólo lectura” alterable externamente. Era capaz de realizar 5.000 sumas o restas, o 300 multiplicaciones por segundo, con un reloj a 100 Khz. Todas estas operaciones se realizaban en serie y en base 10, representando cada cifra mediante un anillo *flip-flop* (herencia de las calculadoras mecánicas). A pesar de que la entrada y salida de datos se realizaba mediante tarjetas perforadas su programación se realizaba modificando la interconexión entre los componentes, lo que resultaba una tarea muy compleja que requería estar muy familiarizado con los detalles de operación de la máquina. A pesar de estas dificultades y de la facilidad que tenía para averiarse, prestó servicio durante 10 años. Aunque fue terminado demasiado tarde para que pudiera ser de utilidad en la Segunda Guerra Mundial, el departamento de defensa de Estados Unidos lo utilizó para

otras actividades, como el desarrollo de la bomba H. Dejó de trabajar en 1.955 y actualmente se puede ver parte del mismo en el Museo Aeroespacial de Washington.

Aunque el ABC fue diseñado como un computador especializado en resolver sistemas de ecuaciones y el ENIAC era un computador de aplicación general, que trabajaba en el sistema decimal en lugar de usar el sistema binario, el resultado de un litigio que comenzó en 1.967 y terminó en 1.973 entre dos compañías informáticas: Sperry Rand Corporation y Honeywell, sobre la autoridad de la patente del computador electrónico, sentenció que Ecker y Mauchly no inventaron por sí mismos el computador digital electrónico sino que obtuvieron información de Atanasoff.

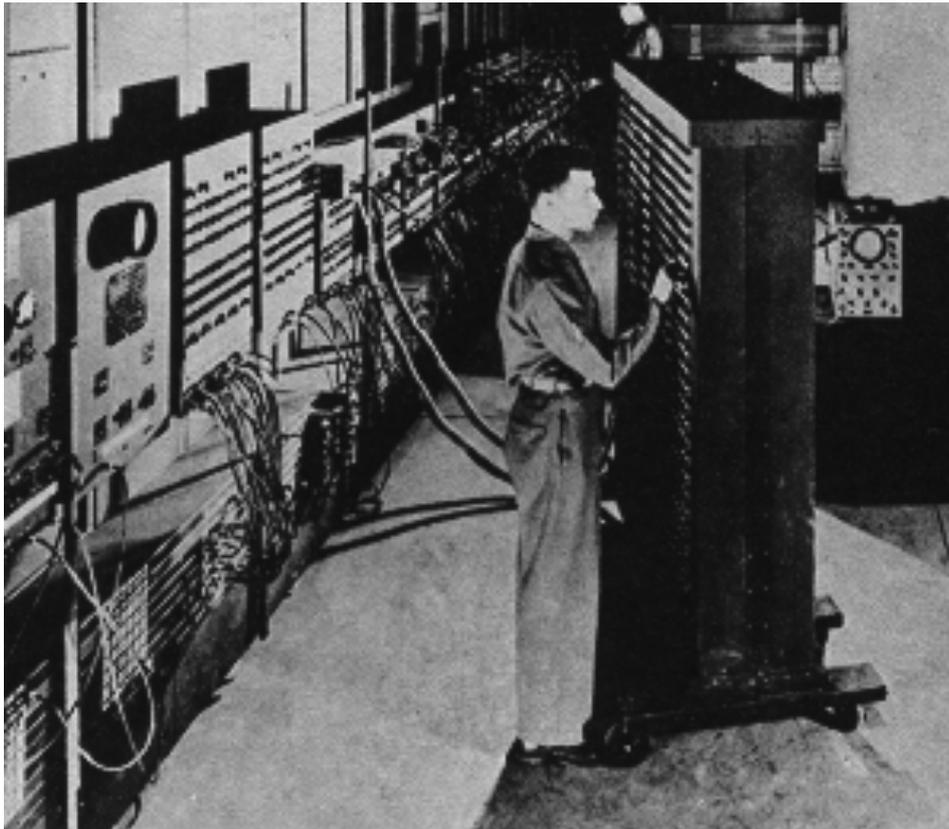


Figura 4: El computador ENIAC operando

Computadores de programa almacenado

El sucesor del ENIAC fue el denominado EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*), en el que Mauchly y Eckert se plantearon la realización de un sistema de almacenamiento del programa. Las instrucciones en vez de ser instaladas por medio de la interconexión de hilos eran almacenadas electrónicamente, usando un método descubierto por Eckert cuando trabajaba con radares: un tubo de mercurio concebido como línea de retardo, los pulsos eléctricos se reflejaban tan lentamente que el sistema podía ser usado para retener información. Otro avance significativo era que el EDVAC codificaba información en forma binaria en vez de en forma decimal con lo que se reducía significativamente el número de válvulas de vacío usadas.

En 1.944 se unió al proyecto EDVAC el matemático John von Neumann. El interés de von Neumann por los computadores surgió en parte por su participación en el

altamente secreto proyecto Manhattan en Los Álamos, Nuevo México, donde demostró matemáticamente la eficacia del llamado método implosivo para la detonación de la bomba atómica. En el momento de su incorporación al proyecto EDVAC estaba estudiando la bomba de hidrógeno.

En junio de 1.945 John von Neumann publicó un memorándum de 101 páginas titulado “*First Draft of a Report on the EDVAC*”, en él realiza una descripción magistral de la máquina y de la lógica sobre la que se apoya. El computador propuesto en el documento, fundamento teórico de gran parte de los computadores actuales, constaba de las cinco unidades básicas siguientes:

- Unidad de entrada, para transmitir datos o instrucciones desde el exterior de la memoria.
- Unidad de memoria, para almacenar tanto datos como instrucciones.
- Unidad aritmético-lógica, capaz de realizar operaciones sobre datos binarios.
- Unidad de control, encargada de interpretar las instrucciones y ordenar su ejecución.
- Unidad de salida, para transmitir los resultados al exterior.

Estos principios conforman la arquitectura básica del computador de programa almacenado, llamada arquitectura von Neumann, que es la base de los computadores modernos.

En 1.946 se realizaron una serie de conferencias sobre el computador electrónico en la “*Moore School of Engineering*” a las que asistió el científico inglés Maurice Wilkes. A su regreso a Inglaterra se dedicó al diseño del computador EDSAC (*Electronic Delay Storage Automatic Calculator*) en la Universidad de Cambridge. Este computador se terminó de fabricar en 1.949, dos años antes de que se terminara de construir su inspirador el EDVAC, tenía una memoria de 1.024 palabras, utilizando una línea de retardo de mercurio, apoyada por un tambor de 4.600 palabras. El EDSAC fue, también, el primer computador que utilizó la noción de memoria jerárquica y una arquitectura basada en acumulador que permaneció hasta los años 70. Un prototipo del computador EDSAC fue construido en la universidad de Manchester en 1.948 denominando Manchester Mark I, este es propiamente el primer computador de lenguaje almacenado construido [Wilk92].

Otro computador que se desarrolló antes que el EDVAC fue el ACE (Automatic Computing Engine) de Turing, en 1.951, que fue el más rápido de su época.

El EDVAC tenía una memoria de 4.096 palabras de 40 bits. La unidad aritmético-lógica era un simple acumulador que efectuaba operaciones en paralelo de números binarios en notación de complemento a dos.

Memorias de ferrita

Al mismo tiempo en el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) se trabajó sobre un computador de propósito especial para tratamiento de señales en tiempo real, el Whirwind I (WWI), que fue construido entre 1.947 y 1.951, tenía un juego de 27 instrucciones, una capacidad de memoria de hasta 2.048 palabras de 16 bits y podía ejecutar 20.000 instrucciones por segundo. La memoria de los primeros WWI estaba diseñada con tubos de almacenamiento electrostático que pronto fueron reemplazados por núcleos de ferrita, desarrollados por Jay Forrester en el MIT. Ésta fue su principal

aportación, con una gran repercusión en los desarrollos posteriores, ya que el uso de núcleos magnéticos como tecnología de memoria permaneció cerca de 30 años.

Consecuencias del EDVAC

Después de estas máquinas siguieron una serie de realizaciones, todas ellas basadas en el EDVAC, y con nombres como: ILLIAC de la Universidad de Illinois, Johniac de la corporación Rand, MANIAC en los Alamos, WEISAC del Weizman Institute de Israel, AVIDAC y ORDVAC de los Argonne National Laboratories, SWAC (*Standard Western Automatic Computer*), SEAC (*Standard Eastern Automatic Computer*), etc.

En 1.952 von Neumann y sus colegas empezaron en el Instituto para Estudios Avanzados de Princeton el diseño de un nuevo computador llamado IAS (*Institute for Advance Study*) terminado en 1.952 por Julian Bigelow, que incluía todas las ideas desarrolladas por su promotor. Es increíble como este computador construido hace 45 años incorpora los conceptos que se utilizan hoy en los modernos computadores.

Primeros computadores comerciales

En 1.951 se construye el primer computador electrónico con propósitos comerciales, el LEO (*Lyon Electric Office*) construido por Wilkes. Admitía como entrada tarjetas perforadas, realizaba la salida por impresora o tarjetas, almacenaba 2.048 palabras binarias y ejecutaba una instrucción en un milisegundo.

En junio del mismo año, Eckert y Mauchly fundaron la compañía UNIVAC (*Universal Automatic Computer*), después de abandonar la “*Moore School of Engineering*” y desarrollaron el UNIVAC I, que fue el primer computador fabricado en serie. Fue adquirido por la oficina del censo de EE.UU. para realizar el censo de 1.950, y se dice que estuvo operando sin interrupción durante 12 años las 24 horas al día. Sus principales aportaciones consistían en la utilización de diodos de cristal, en vez de tubos de vacío, preludiando la era del estado sólido y la introducción de unidades de cintas magnéticas que podían leerse hacia delante y hacia atrás, con un sistema de zonas tampón y procedimientos de comprobación de errores. Era una máquina decimal con 12 dígitos por palabra, instrucciones de una sola dirección y dos instrucciones por palabra. Su memoria era, todavía, de líneas de retardo de mercurio y tecnología de válvulas. Se vendieron en total 48 unidades y se pueden ver partes de este computador en el Museo de Computación de Boston.

Al UNIVAC I le seguiría el UNIVAC II compatible con el primero y cuya aportación más interesante consistió en sustituir la memoria de líneas de retardo por una memoria de núcleos de ferrita. A éste le siguieron otros modelos, hasta llegar, en 1.956, al UNIVAC 1103, máquina de 36 bits, aritmética de complemento a uno y coma flotante y, por primera vez, con capacidad para interrumpir los programas en curso.

La réplica de IBM no llegó hasta el año 1.952, en el que apareció su modelo 701, típica máquina von Neumann. Este modelo tenía 2 K-palabras de memoria de tipo electrostático con tamaño de palabra de 36 bits. En 1.956 aparece la máquina científica de la misma serie: el modelo 704, con 4 K-palabras de memoria de ferrita, tres registros índice, unidad de coma flotante cableada y direccionamiento indirecto. Tanto en el modelo 701, como en el 704 las operaciones de entrada y salida se efectuaban a través del acumulador de la unidad aritmético-lógica, sin tener acceso directo a memoria. Con

el modelo 709 aparece por primera vez la posibilidad de que el procesador central y los periféricos compartan el acceso a la memoria.

Otras compañías como la Raytheon, Honeywell, NCR y RCA también se interesaron por el mercado de las computadoras en esta época.

Otro aspecto importante de esta etapa es la idea de la microprogramación, introducida por Wilkes en 1.951, sin embargo esta técnica no pudo ser empleada hasta que años más tarde la tecnología permitiera memorias suficientemente rápidas. Como sucedió con Babbage y otros muchos, éste es un caso más en el que ideas innovadoras de Arquitectura de Computadores tienen que esperar al desarrollo de la tecnología que permitan su implementación.

En el año 1.953 Nathan Rochester diseñó el lenguaje ensamblador formado por instrucciones simbólicas que se correspondían con instrucciones máquina, facilitando la programación de los computadores. A partir de este momento, los ensambladores, macroensambladores, cargadores y montadores fueron cada vez de uso más frecuente.

Resumen básico de esta generación

Esta primera generación de computadores se caracteriza por la utilización de válvulas electrónicas de vacío. La velocidad de proceso es lenta, se mide en milésimas de segundo. Estos computadores disipaban una gran cantidad de energía calorífica y necesitaban controles rigurosísimos de refrigeración y de limpieza ambiental. Eran equipos de gran tamaño, escasa capacidad y difícil mantenimiento. Los trabajos se realizaban en monoprogramación y no existía sistema operativo. Se programaba en lenguaje máquina (sólo al final se introduce el ensamblador), lo que exigía programadores muy especializados y los periféricos de E/S dependían directamente del procesador. A principios de la década de los 50 se introducen las tarjetas perforadas con las que se introducían los programas y se reducía el tiempo de carga de nuevos trabajos.

En esta generación se introduce la idea de la microprogramación. Introducida por Wilkes en 1.951, esta técnica no pudo ser empleada hasta que años más tarde la tecnología permitiera memorias suficientemente rápidas. También se introduce el lenguaje ensamblador en el año 1.953.

3.- Segunda generación: los transistores (1.956-1.963)

La invención del transistor en 1.948 en los laboratorios Bell por John Bardeen, Walter H. Brattain y William B. Shockley, junto con los avances en los sistemas de almacenamiento por medio de núcleos de ferrita, señaló el comienzo de una nueva generación de computadores, al sustituir las grandes y costosas válvulas de vacío por el pequeño y barato transistor de semiconductor, haciendo los computadores más asequibles en tamaño y precio.

El primer computador transistorizado se construyó en los laboratorios Bell en el año 1.955 y recibió el nombre de TRADIC. Constaba de 800 transistores, disipaba una potencia del orden de 100 W, la vigésima parte de la potencia necesaria para los computadores anteriores de válvulas de vacío.

Por otra parte en el Lincoln Laboratory del MIT se desarrolló una máquina basada en el Whirlwind I completamente transistorizada el TX-0 (Transistorized eXperimental computer 0) un prototipo para probar una versión mejorada el TX-2. Uno de los

ingenieros que trabajó en el desarrollo de este computador, Kenneth Olsen, creó la firma DEC (*Digital Equipment Corporation*) en 1.957 para la fabricación de un computador muy parecido al TX-2 el PDP-1, este computador apareció en 1.961 poseía 4K palabras de 18 bits y un tiempo de ciclo de 5 microsegundos. En 1.963 se crea el PDP-5 la serie PDP de DEC alcanzará su pleno desarrollo en la generación siguiente.

Es en 1.959 cuando empiezan a aparecer modelos comerciales de computadores transistorizados. En este año RCA presentó su modelo 501 con el lenguaje de programación COBOL y un voluminoso sistema operativo (en relación con la dimensión de la memoria de este computador).

La reacción de IBM llegó en 1.960 con la serie 7000. El IBM 7094, último de la serie 700/7000, se caracteriza por ser el primer procesador que introduce solapamiento entre las fases de búsqueda y ejecución de instrucciones y utiliza canales de E/S para simultanear el proceso con las operaciones de entrada y salida. Tenía un tiempo de ciclo de 2 microsegundos y 36 K palabras de 36 bits de memoria de ferrita. Este computador junto con el IBM 7090 dominaron el mercado de los computadores científicos durante los años 60. También introdujo máquinas que se hicieron extraordinariamente populares por el número de ventas que consiguieron: el modelo 1620, para cálculo científico, de 6 bits por carácter (2.000 unidades vendidas) y el modelo 1401, para gestión, de 7 bits por carácter (20.000 unidades vendidas).

Durante este periodo de tiempo UNIVAC perdió totalmente la situación de privilegio que había gozado inicialmente. La versión transistorizada del 1103, el 1107, llegó tres años después del 7090, demasiado tarde para convertirse en una competencia importante. Como computador comercial apareció el UNIVAC III que no llegó a tener mucho éxito debido a su elevado precio con relación a sus prestaciones moderadas.

Cuatro computadores que tuvieron poca repercusión comercial, pero con importantes innovaciones tecnológicas, merecen ser citados en este periodo: UNIVAC LARC (1.960), IBM STRETCH (1.961), ATLAS, de la Universidad de Manchester (1.962) y Burroughs D-825 (1.962).

El UNIVAC LARC, del que sólo se fabricaron dos unidades, una que fue instalada en el Lawrence Radiation Labs en Livermore, California, de donde procede su nombre (Livermore Atomic Research Computer) y otra que se instaló en el departamento de investigación naval de la U.S. Navy. Tenía dos procesadores: una CPU de punto flotante en representación decimal codificado en binario y un procesador de entrada y salida con memoria propia para sus programas. Sus innovaciones son: memoria entrelazada, anticipación en la CPU y separación de procesadores.

El IBM STRETCH (o 7030) también incorpora la anticipación en la ejecución de instrucciones con memoria entrelazada, un conjunto de instrucciones muy extenso, que permitía el tratamiento de vectores booleanos y enteros de longitud variable y el soporte hardware a la protección de memoria de tareas de multiprogramación mediante registros de dos cotas [Buch62].

El ATLAS incorporaba, por primera vez, la memoria virtual por paginación entre una memoria principal de 16 K palabras y un tambor magnético de 96 K palabras, en páginas de 512 palabras. La memoria estaba distribuida en cuatro módulos, lo que permitía acceder a dos instrucciones y dos operandos simultáneamente, es decir, podía tener hasta cuatro instrucciones en diversas fases de ejecución. Disponía de dos unidades aritmético-lógicas, una de 24 bits para el

cálculo de las direcciones, y otra de 48 bits para operaciones de coma fija y flotante. Sus innovaciones son las siguientes: memoria virtual paginada, anticipación (look-ahead) en la ejecución de instrucciones y múltiples unidades aritmético-lógicas. También utilizaba interrupciones para E/S.

El Burroughs D-825, concebido para aplicaciones militares, es el primer auténtico multiprocesador, pues incorporaba cuatro procesadores idénticos trabajando sobre 16 módulos de memoria mediante un conmutador de barras cruzadas.

Algunas compañías observaron la importancia de la compatibilidad para la sustitución de las máquinas. Un ejemplo de compañía con esta visión de futuro fue Honeywell con sus series H-800 y H-200, compatibles con el 1401.

Dos compañías lanzaron, en este período, máquinas que se separaban de la tradicional estructura de von Neumann. Fueron CDC y Burroughs. CDC, fundada en 1.957 por personal procedente de UNIVAC (Seymour R. Cray, entre otros), lanzó el modelo 1604, un computador científico de 48 bits por palabra, competencia del IBM 7090. Aunque más lento que este último, era también más barato.

Posteriormente, CDC comercializó el revolucionario 3600 con su conexión *multiport-multibus* entre CPU, canales de entrada-salida y memoria. Burroughs, por su parte, con su B-5000 (1.963), que puede ser considerada como la primera máquina diseñada para soportar de forma eficiente los lenguajes de alto nivel (en particular el ALGOL-60), introdujo tres novedades importantes: la organización de la memoria en pila, el direccionamiento basado en puntero y el enfoque segmentado de la memoria virtual.

Los primeros lenguajes de alto nivel

En esta época se extiende el uso y normalización de los lenguajes de programación de alto nivel. Esto permitió simplificar la tarea de programar un computador, creando un conjunto de instrucciones más cercanas al lenguaje del hombre que al lenguaje de la máquina. La programación en lenguaje máquina era una labor tediosa y exigía un profundo conocimiento de la Arquitectura del Computador.

En 1.956 John Backus concretiza el primer lenguaje de programación de alto nivel, el FORTRAN (*FORmula TRANslation*), en un computador IBM 701. El primer compilador para este lenguaje se escribe un año después para un computador IBM 704. Es un lenguaje de alto nivel de carácter científico que tendrá una gran expansión, especialmente en el desarrollo de programas de cálculo numérico. Fue una verdadera revolución, principalmente por la posibilidad de generar programas de alto grado de portabilidad entre máquinas.

Sobre 1.960 aparecen dos nuevos lenguajes: el COBOL (*COmmon Bussines Oriented Language*), auspiciado por el Departamento de Defensa de los EE.UU, orientado a los negocios y el ALGOL60 (*ALGOrihmic Language*) especializado en el campo científico. Posteriormente, aparece el PL/1 (*Programming Language Versión 1*) como un intento de lenguaje universal, que pretende aprovechar las ventajas de los tres citados. También son resultado de este periodo lenguajes especializados como el APL (*A Programming Language*), para trabajos conversacionales en el ámbito del cálculo matricial y enseñanza del álgebra lineal y el LISP (*LISt Processing*), para tratamiento de listas.

4.- Tercera generación: los circuitos integrados y la multi-programación (1.964-1.972)

La llegada de la tercera generación de computadores viene motivada, fundamentalmente, por tres circunstancias:

- La aparición de los circuitos integrados y de los circuitos impresos multicapa.
- La salida al mercado de las familias de computadores: máquinas de distinta potencia y precio que tienen la misma arquitectura, y que son, por tanto, familias compatibles.
- La generalización de los sistemas operativos con multiprogramación, consistente en combinar la ejecución de operaciones de CPU de unos programas, con las de E/S de otros, obteniendo en conjunto la ejecución de varios programas “simultáneamente”.

Circuitos integrados

El primer circuito integrado fue desarrollado por Jack Kilby en 1.958 cuando trabajaba para Texas Instrument. El circuito contaba con apenas cinco componentes, el gran mérito de Kilby fue la demostración de que junto con los dispositivos semiconductores se podían integrar resistencias y condensadores.

A partir de ese momento la tecnología de fabricación de circuitos integrados permitirá desarrollar sobre un mismo soporte de silicio cientos o miles de transistores, diodos, resistencias y condensadores interconectados formando bloques funcionales. En este periodo se emplearon circuitos integrados de baja escala de integración (SSI: *Small Scale Integration*) y media escala de integración (MSI: *Medium Scale Integration*).

También se introdujo en esta época la tecnología multicapa para la fabricación de circuitos impresos, que permitía un trazado de las pistas en distintos niveles, consiguiendo una disminución del tamaño de las placas. Los computadores construidos con estas tecnologías tenían un volumen considerablemente inferior a los anteriores, un consumo de potencia inferior y una velocidad superior, pudiéndose ejecutar una instrucción en pocos nanosegundos.

La primera familia de computadores

En 1.964 IBM era el líder entre los fabricantes de computadores, pero tenía un gran problema: sus principales máquinas el 7094 y el 1401 eran totalmente incompatibles entre sí. Una era un procesador de números sumamente veloz, que usaba aritmética binaria paralela sobre registros de 36 bits, y la otra un excelente procesador de entrada salida que utilizaba aritmética decimal sobre palabras de tamaño variable en memoria. Muchos clientes tenían las dos máquinas y les hubiera gustado no necesitar dos departamentos de programación sin ningún punto en común.

Esta situación fue la causa de que el computador más significativo de esta generación, el IBM 360 [Amda64], fuese concebido más que como un computador aislado como una familia de computadores todos compatibles arquitectónicamente pero con diferentes prestaciones y precios, fusionando así las líneas científica y de gestión. IBM comercializó seis series distintas del sistema 360, los modelos 30, 40, 50, 60, 62, y 70, estructuralmente distintos, pero con la misma arquitectura del computador, gracias al uso de técnicas de microprogramación en los modelos más pequeños, y que variaban en la relación coste-rendimiento hasta en un factor 25. Fueron los primeros computadores que se comercializaron con circuitos SSI y difundieron importantes innovaciones como prioridades de las interrupciones, canales de E/S, controladores DMA, memoria cache, protección de memoria y microprogramación (concepto introducido en 1.951 por Wilkes).



Figura 5: IBM 360

Los principales detalles a destacar de la serie 360 respecto a sus antecesores son:

- ❑ CPU de 32 bits o 4 bytes, con 16 registros de uso general (de 32 bits) direccionables al nivel de byte, 4 registros para coma flotante de doble precisión y 150 instrucciones.
- ❑ Un espacio de direcciones de 16 Mbytes y gestión de memoria virtual.
- ❑ Memoria principal más rápida, de hasta 1 M-palabra, dotada de una memoria auxiliar de ferrita, más lenta y barata.
- ❑ Desarrollo y diversificación de los canales (hoy procesadores de E/S). Selectores y multiplexores, según el tipo de periférico al que se conecten.
- ❑ Sistema de interrupciones con prioridades modificables por el programador.
- ❑ Mecanismos de protección de memoria, y doble palabra de estado, de cara a facilitar la implantación de sistemas operativos de multiprogramación. Introduce el primer sistema operativo multiprogramado: el OS/360.

Los modelos 60, 62 y 70 desaparecieron pronto, dando lugar al 65 y 75. En 1.967 se lanzó el modelo 67, la primera máquina IBM para el público en general que hacía uso del concepto de memoria virtual, y el modelo 44, diseñado para aplicaciones científicas y de tiempo real. En los modelos más avanzados, el mejor fue el 360/91, se aplicaron algunas técnicas empleadas en el STRETCH, y otras nuevas de anticipación. Sin embargo sólo se vendieron 20 unidades al aparecer el 360/85, con memoria cache, y prestaciones comparables. A continuación salió el 195 (1.971) que aprovechaba las mejores características del 91 y 85. En la parte más baja de la escala, se introdujo el 360/20, para satisfacer a los antiguos usuarios de la serie 1400. En 1.970, IBM anunció

su sistema 370, con mejoras en la tecnología de la circuitería, memoria cache y virtual, el 158, 168 y 3033.

El primer supercomputador

En el campo de las máquinas de altas prestaciones varias compañías presentan sus productos, siendo necesario destacar el modelo 6600 de Control Data diseñado por Seymour Cray en 1.963 y considerado como el primer supercomputador. La arquitectura de este computador incluía muchos de los conceptos que podemos encontrar actualmente en los microprocesadores, como la segmentación en las unidades funcionales. Posteriormente Seymour Cray formaría su propia compañía, Cray Research, para comercializar el Cray-1.

Otros computadores importantes de esta generación son:

- ❑ El 7600 (1.969), que mejora del 6600, el Cyber-175, con múltiples unidades funcionales, y el STAR-100 (1.973), un computador vectorial segmentado, fabricados por CDC.
- ❑ El IBM 370, sucesor de la serie 360.
- ❑ El UNIVAC 1108.
- ❑ El ASC, Advanced Scientific Computer (1.972), de Texas Instruments. Computador vectorial segmentado.
- ❑ El ILLIAC-IV (1.972) de la Universidad de Illinois. Máquina SIMD con 64 procesadores.
- ❑ El C.mmp (1.970), máquina MIMD desarrollada en la Universidad de Carnegie-Mellon a partir de PDP-11/40E.

Minicomputadores

Otro aspecto significativo es la comercialización de los minicomputadores, con mucho menor precio y prestaciones que los enumerados anteriormente. Los ejemplos más significativos son los diferentes modelos que DEC lanzó al mercado. El PDP-8 usaba un ancho de palabra de 12 bits y alcanzó 12.000 unidades vendidas. El modelo siguiente, el PDP-11, disponía de un ancho de palabra de 16 bits. Finalmente, la limitación de direccionamiento de 64 K fue superada por la introducción de los modelos VAX 11, de 32 bits.

También hay que tener en cuenta la aparición de fabricantes de computadores fuera de EE.UU.: Siemens en Alemania, CII en Francia, Philips en Holanda, Fujitsu en Japón, etc.

En esta época avanza notablemente el desarrollo de periféricos para los computadores: terminales de vídeo, impresoras, unidades de almacenamiento auxiliar, nuevos mecanismos electrónicos para soportar las telecomunicaciones y permitir situar terminales a grandes distancias del computador, etc.

Avances en sistemas operativos

Los sistemas operativos dan un paso gigantesco en esta época. Multiprogramación y tiempo compartido son los objetivos perseguidos por los sistemas operativos de esta

generación. En los sistemas multiprogramados varios programas se encuentran cargados simultáneamente en memoria compitiendo por el uso del procesador, cuando uno de ellos solicita una operación de E/S se puede asignar el procesador a otro proceso y simultanear ambas operaciones. Por primera vez aparece un enfoque de diseño por capas propuesto por Dijkstra para el sistema THE [Dijk68].

El gran avance de esta época lo constituye, sin ningún género de dudas, la aparición de los sistemas de tiempo compartido. En este tipo de sistemas, el tiempo total de procesador se reparte entre los distintos procesos que hay en el sistema, conmutándose de unos a otros a intervalos definidos de tiempo. Con esto se consigue que los distintos usuarios tengan la sensación de disponer de su propio procesador. A este tipo de sistemas se accede por medio de un terminal y se puede trabajar de forma interactiva. Esto supuso un avance enorme a la hora de desarrollar programas.

En esta generación también se introducen sistemas con jerarquía de memoria que hacían uso de técnicas de memoria virtual. Surgen nuevas técnicas de organización de los datos (archivos y bases de datos), que permiten su almacenamiento, compartición y recuperación de una forma más rápida y eficaz. De esta época datan también los primeros sistemas de tiempo real.

La aparición en 1.964 del sistema IBM 360 marcó el comienzo del desarrollo de sistemas operativos multipropósito, complejos y enormemente grandes, baste citar como ejemplos OS/360 [Broo75] y Multics [Corb65]. Los sistemas operativos comienzan a ser una ciencia importante.

En el campo del software, los lenguajes de alto nivel apenas se renuevan y sólo aparecen mejoras de los lenguajes ya existentes o versiones derivadas, como el BASIC y el Pascal derivado del ALGOL. Sin embargo, todos ellos fueron enormemente potenciados, al hacer uso de compiladores mejorados. El aspecto más destacable dentro de la programación es la aceptación los postulados del holandés Dijkstra sobre programación estructurada (1.968).

5.- La cuarta generación: los microprocesadores (1.972-1.987)

En 1.966 el editor de la revista Electronics, Stephen B. anunció la creación de lo que se llamo la Sociedad de Amadores de los Computadores, atrayendo inicialmente a 110 miembros, muchos de ellos eran ingenieros que trabajaban con computadores y en su tiempo libre se dedicaban a la construcción de aparatos para uso domestico en garajes o en oficinas domesticas. Aquí podemos considerar que se encuentra el germen del desarrollo de los primeros computadores personales que caracterizan esta generación.

En el terreno tecnológico esta generación está caracterizada por la introducción de los circuitos integrados con tecnología de gran escala de integración, primero con los circuitos integrados de alta escala de integración (LSI: *Large Scale Integration*) y después muy alta escala de integración (VLSI: *Very Large Scale Integration*).

La posibilidad de integrar todos los elementos necesarios para la realización de un computador (Unidad de control y unidad aritmético-lógica) dentro de un único circuito integrado dio lugar al desarrollo de los microprocesadores. El primer microprocesador fue desarrollado en 1.971 por la compañía Intel y recibió el nombre de 4004 [Noyc81]. En realidad este microprocesador no era de propósito general, sino que estaba diseñado

para su uso en la fabricación de calculadoras por parte de un fabricante japonés de estas máquinas: Busicom. El éxito de este diseño llevó a Intel a plantearse la construcción de un microprocesador de propósito general que daría como resultado el 8080.

En el desarrollo de los microprocesadores de propósito general, dentro de esta época, pueden considerarse 4 fases, según su longitud de palabra, sinónimo de la potencia de los mismos:

- Microprocesadores de 8 bits. Es el primer conjunto de microprocesadores de propósito general. Como ejemplos pueden citarse: Intel 8008 y 8080, Motorola 6800, Rockwell 6502, etc.
- Microprocesadores de 8 bits mejorados. Se añaden nuevos recursos físicos, modos de direccionamiento e instrucciones, aumentando también su velocidad. Ejemplos típicos son el Intel 8085, Zilog Z-80, Motorola 6802 y 6809, etc.
- Microprocesadores de 16 bits. Incluyen nuevos recursos físicos, mayor potencia en el juego de instrucciones y en los modos de direccionamiento. Ya se observa una clara orientación en algunos microprocesadores hacia el soporte de lenguajes de alto nivel y sistemas operativos. Algunos ejemplos son: Intel 8086/88, Motorola 68000, Zilog Z-8000, etc.
- Microprocesadores de 32 bits. Están orientados a lenguajes de alto nivel y a sistemas operativos con multiprogramación y multitarea, manteniendo algunos de ellos la compatibilidad con microprocesadores de 16 bits de la misma marca. Su velocidad y potencia es muy elevada. Como ejemplos típicos, citaremos el Intel 80386, Intel iAPX 432, Motorola 68030, National NS-32000, etc.

En las aplicaciones industriales de los microprocesadores es de destacar la aparición de microcomputadores en un sólo chip, también llamados microcontroladores, que incluyen en una sola pastilla, CPU, memoria ROM y RAM, elementos de E/S, e incluso accesorios especiales, tales como temporizadores, convertidores A/D y D/A, etc. Estos elementos son ideales para su uso en sistemas de control, puesto que en un solo circuito integrado incorporan todos los elementos necesarios para la realización de pequeños sistemas aplicables al control de procesos no demasiado complicados. Como ejemplos de microcontroladores podemos citar la serie MCS-48, 51 y 96 de Intel, la serie COP-400, 800 y HPC de National Semiconductor, la familia del 68HC11 de Motorola etc.

Todo ello supone que, con unas pocas pastillas, puede construirse un computador, de tamaño pequeño, con prestaciones comparables a las de los minicomputadores de la generación anterior.

Simultáneamente, el aumento en la escala de integración ha facilitado la fabricación de circuitos integrados de memoria de gran capacidad, que han pasado a ser los elementos estándar de la memoria principal de la máquina, así como de gran cantidad de circuitos auxiliares al microprocesador, con funciones propias de partes del computador.

También hay que citar algunos de los últimos modelos que salieron a la luz, como el Intel 80486, de 32 bits, con 1.200.000 transistores, compatible con el 80386 y que incluye internamente el coprocesador matemático y gestor de memoria; el Intel 860, con tecnología RISC, longitud de palabra de 64 bits, memoria cache de instrucciones y datos

y tratamiento de gráficos en 3D, o la familia Motorola 88000, también de tecnología RISC.

El nacimiento del computador personal

En 1.974 se anunció la aparición de una nueva máquina llamada Scelbi-8H de la firma Scelbi, cuatro meses después apareció su competidora la Mark-8. Ambas máquinas estaban basadas en el chip 8008 de Intel y sólo servirían para anunciar la aparición de los nuevos computadores de propósito general basados en microprocesadores o también llamados computadores personales.

El primer suceso importante en el desarrollo de computadores basados en microprocesadores fue la aparición de Altair 8800 construido a partir del microprocesador 8080 de Intel, se ofrecía en dos versiones: en kit para la construcción por el propio usuario o ya construido. Altair fue construido por un joven oficial de las fuerzas aéreas, Eduard Rovers, que fundó la compañía MITS. Su aparición fue una auténtica revolución, se vendieron 4.000 unidades en apenas 3 meses a pesar de lo rudimentario del equipo: no disponía de teclado ni de pantalla, los programas se introducían por medio de interruptores y los resultados se mostraban por medio de lámparas, y su memoria era de apenas 256 bits.

Altair fue el punto de partida para que muchos otros aficionados sacasen sus productos a este nuevo mercado. Un joven programador Paul Allen se asoció con un estudiante de Harvard, William Gates, con el fin de desarrollar una versión de BASIC para Altair, así nació la conocida compañía Microsoft.

En 1.977 apareció el PET 2001 de Comodore, el TRS 80 de Radio Shack y el Apple II. Éste último, desarrollado por un grupo de amigos, estaba basado en el microprocesador 6502 y disponía de una capacidad de almacenamiento de 16 Kbytes, entrada por teclado, salida por monitor de vídeo; utilizaba como memoria secundaria un aparato grabador-reproductor de cassette doméstico.

Posteriormente surgieron infinidad de fabricantes de este tipo de computadores debido al gran mercado que ofrecía. Así apareció la serie ZX-80, ZX-81, que fue considerado como el primer computador doméstico europeo, y el Spectrum de Sinclair. Las ventas mundiales fueron tales que la reina de Inglaterra concedió el título de Sir a Clive Sinclair, su promotor, por el impulso que supuso para las exportaciones británicas. Como otros ejemplos, podemos citar los modelos de Spectravideo, Amstrad, Commodore, etc.

Sin embargo, el tipo de máquina que hoy día conocemos como computador personal (*Personal Computer*) es el IBM PC y sus copias compatibles, que fue puesto a la venta en 1.981. Estaba basado en el microprocesador Intel 8088, variante del 8086 para reducir la estructura del bus de datos a 8 bits. No tenía disco duro, sino sólo una o dos unidades de disco flexible de 5 ¼ pulgadas y ninguna capacidad gráfica en su monitor monocromo. Es curioso que IBM no tuviera muchas expectativas puestas en él. Su precio era algo superior a un millón de pesetas de las de entonces. El sistema operativo, el MS-DOS (*Microsoft Disk Operating System*), no fue elaborado por IBM sino por Microsoft. El inesperado éxito del PC enriqueció a Microsoft y le permitió iniciar su carrera posterior.

Los computadores personales han basado su desarrollo fundamentalmente en los microprocesadores [Slat96]. Estos han evolucionado desde los primeros modelos de 8 bits hasta los de 64 bits de hoy día. El interés en mantener los clientes manteniendo la

compatibilidad al nivel de código máquina ha marcado también esta evolución. Las principales familias de microprocesadores, como la 80x86 de Intel o la MC 680x0 de Motorola, han ido proporcionando cada vez versiones más rápidas y potentes, integrando en el circuito integrado más funciones como gestión de memoria virtual, memoria cache, etc., hasta el punto de que los más modernos microprocesadores sirven de base a estaciones de trabajo más potentes que cualquier computador de la generación anterior.

Los supercomputadores

Por otra parte, en el campo de máquinas de altas prestaciones, también ha habido notables avances en esta generación. Al principio de los años 70 aparecen los computadores vectoriales. Estos computadores cuentan con instrucciones que actúan directamente sobre vectores en lugar de sobre escalares, disminuyendo notablemente el tiempo de ejecución de muchas aplicaciones numéricas. Están basados en tecnologías muy rápidas, como la tecnología ECL (*Emitter Coupled Logic*), por lo que resultan muy caros de fabricar y mantener. Los compradores de este tipo de computador son grandes instituciones científicas o centros de cálculo. El ejemplo más característico es el Cray-I (1.976), considerado entonces como el computador más caro, rápido y con mejor relación coste-rendimiento para aplicaciones científicas.

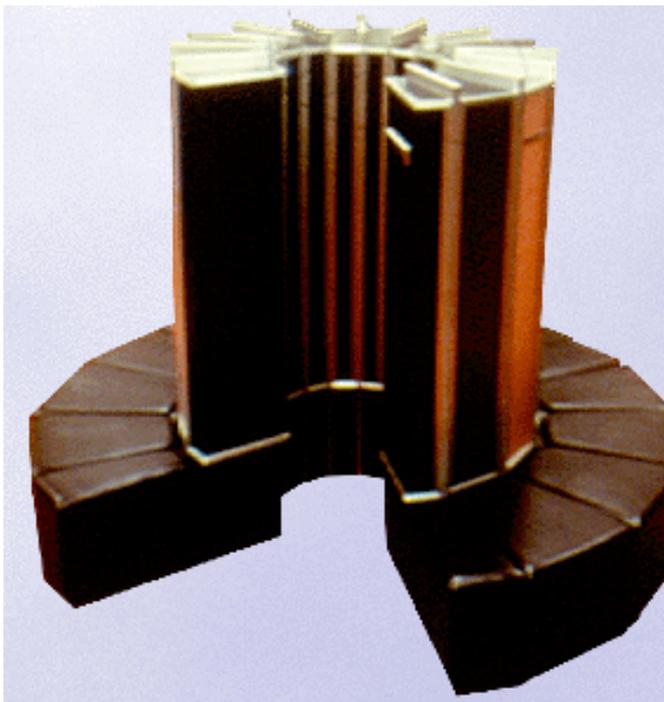


Figura 6: Cray-I

También se crean computadores paralelos vectoriales formados por un número pequeño de procesadores vectoriales que comparten la misma memoria. Estos computadores se utilizan para realizar cálculos a gran velocidad sobre un gran conjunto de datos. Ejemplos de empresas que comercializan este tipo de computador son Cray, NEC, Hitachi, Fujitsu, etc. Dentro de este tipo de computador hay un subconjunto de supercomputadores de menor escala y más económico que se denominan mini-supercomputadores, como

por ejemplo los computadores comercializados por Convex.

Otras máquinas de altas prestaciones de esta generación son:

- Con estructura SISD de múltiples unidades funcionales segmentadas y dotados de instrucciones vectoriales.- CDC Cyber 205 (1.982), IBM 370/168 MP (1.980),

-
- Con estructura SIMD.- Goodyear Aerospace PEPE (Parallel Processor Ensemble, 1.976) y STARAN, Burroughs BSP (Burroughs Scientific Processor, 1.983).
 - Con estructura MIMD.- UNIVAC 1100/80 (1.976), Fujitsu M-382 (1.981), IBM 3081 (1.980), Burroughs B-7800 (1.978) y Cray X-MP (1.983).

Respecto a los cambios arquitectónicos cabe destacar el surgimiento de los procesadores con conjunto reducido de instrucciones RISC, en los que el conjunto de instrucciones se reduce al mínimo, con formato fijo, buscando alcanzar una mayor velocidad global. Otro hecho importante es la aparición de los Transputers de la casa INMOS, microprocesadores dotados especialmente para la comunicación entre ellos con la idea de que sirvieran como unidades de desarrollo de grandes computadores.

Avances en lenguajes de programación

En lo que respecta a software, se amplían los lenguajes de alto nivel para completar el manejo de datos escalares y vectoriales conjuntamente (por ejemplo el FORTRAN extendido de muchos procesadores vectoriales). También aparecen compiladores con capacidad de vectorización para determinadas máquinas. Los lenguajes más representativos de esta generación y que siguen con gran vigencia actualmente son C y ADA. El lenguaje C, diseñado a principios de los años 70 en los laboratorios Bell Telephone, estaba pensado inicialmente para codificar el sistema operativo UNIX y poder transportarlo de un computador a otro. Une a algunos aspectos del lenguaje ensamblador las ventajas de universalidad, legibilidad y portabilidad de un lenguaje de alto nivel. Dado que es un buen lenguaje, tanto para la programación de sistemas como para la programación de aplicaciones y que UNIX, con el que forma un entorno completo, se ha difundido enormemente y parece que le queda larga vida.

ADA nace (1.974) en una comisión interna del Pentágono, con el objetivo de normalizar la programación de las aplicaciones militares y simulaciones. Hasta 1.980 no se dictaron las normas de su estándar ANSI y su primer compilador operativo aparecería en 1.984. Es un lenguaje fuertemente estructurado, con multitarea definida en el lenguaje y con grandes capacidades para aplicaciones de tiempo real y control de procesos.

Avances en sistemas operativos

La mayoría de los sistemas operativos, además de soportar multiprogramación y multiprocesamiento, funcionan en tiempo compartido. Se tiende a la estandarización y al incremento de portabilidad, siendo UNIX [Ritc74] pionero en este sentido. También hay una preocupación creciente por la interfaz con el usuario, desarrollándose interfaces gráficas cada vez más difundidas.

6.- La quinta generación: el microprocesador como elemento básico (1.988-)

El alto nivel de integración de los circuitos integrados ha permitido el abaratamiento del hardware de los computadores y debido a ello ha aumentado su popularidad, es rara la empresa que no utiliza un computador y gracias a la explosión de los computadores personales en muchas casas hay un computador. La característica

fundamental de esta generación es el uso del mismo elemento básico, el microprocesador, para el diseño tanto de sistemas portátiles como de supercomputadores.

Los microprocesadores actuales

Para aumentar la velocidad de procesamiento de los microprocesadores se han incorporado en su diseño las técnicas usadas en generaciones anteriores en los supercomputadores como son segmentación y paralelización, esto ha sido posible gracias a la alta escala de integración que nos permite diseñar circuitos integrados que contienen varios millones de transistores.

Prácticamente todos los microprocesadores actuales de última generación segmentan tanto la ejecución de las instrucciones, para reducir su tiempo medio de ejecución, como los operadores aritméticos estos microprocesadores se denominan segmentados o supersegmentados si son capaces de multiplicar internamente el reloj del sistema. Los microprocesadores más modernos son capaces de emitir varias instrucciones por ciclo de reloj, son los denominados superescalares, en estos computadores se aplican técnicas de emisión en desorden con terminación en desorden para aprovechar al máximo el paralelismo del microprocesador.

Numerosas compañías informáticas comercializan estaciones de trabajo basadas en este tipo de microprocesador, como Silicon Graphics, IBM, DEC, SUN, HP (Hewlett Packard), etc. Incluso las compañías constructoras de supercomputadores están basando la construcción de estos equipos en microprocesadores, así por ejemplo el último computador Cray, versión Cray T3D es un sistema escalable que permite la conexión de hasta 2.048 microprocesadores Alpha 21064.

La computación masivamente paralela

Como hemos indicado en el apartado anterior se ha extendido bastante el uso de microprocesadores de última generación para la construcción de computadores paralelos de memoria distribuida formados por un conjunto de procesadores con memoria local, conectados por una red de interconexión rápida, que cooperan entre sí para resolver la misma tarea. Al principio estos computadores paralelos llevaban procesadores especializados (como la serie Transputer de INMOS), pero el largo tiempo que se invierte en el diseño y depuración de estos procesadores hace que la relación coste-rendimiento disminuya si los computadores paralelos se construyen con procesadores superescalares comerciales.

Ejemplos de estos computadores son el Cray T3D y T3E, el IBM SP2, etc. Estos computadores están reemplazando a los supercomputadores tradicionales. Sin embargo, la idea del computador vectorial no se ha abandonado, pero se tiende a usar tecnología CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) en lugar de ECL, como es el caso de los últimos computadores vectoriales fabricados por Fujitsu o NEC.

El uso de computadores paralelos para realizar simulaciones numéricas está cambiando las técnicas numéricas y los lenguajes de programación actuales. Los algoritmos se están modificando, aumentando su grado de paralelismo y localidad, de modo que se puedan ejecutar eficientemente sobre estos computadores optimizando el uso de la red de interconexión y la jerarquía de memoria.

En esta época es cuando aparecen los sistemas operativos de amplia difusión en los que su interfaz gráfica es cuidada con objeto de convertirla en muchos casos en su principal atractivo. Los entornos distribuidos cobran especial atención por responder perfectamente al esquema de trabajo de muchas empresas y entidades. Pero sin duda ninguna un elemento crucial que adquiere un crecimiento espectacular es Internet.

La red Internet se ha convertido en una herramienta fundamental en la investigación científica debido al rápido intercambio de información que proporciona. Realmente Internet es una red que une muchas redes científicas, de investigación y educativas. Internet fue iniciada en el año 1.969 por el Departamento de Defensa de Estados Unidos y se fue extendiendo hasta convertirse en la red mundial para la investigación científica. Ahora es mucho más que eso, no sólo las universidades están conectadas, sino también muchas compañías, servicios de información y hasta las personas desde sus hogares.

Las ventajas principales de Internet son el envío de mensajes y la capacidad de búsqueda de información. La posibilidad que aporta Internet de buscar información sobre un tema específico la convierte en una de las herramientas de investigación más importantes. Nos introducimos en una nueva etapa de la evolución de los computadores donde las comunicaciones y la interconexión entre computadores están tomando una importancia creciente.

La aparición de Internet ha influido mucho en el desarrollo de Sistemas Operativos, o dicho de modo más general, en el proceso de desarrollo de software. La alternativa "Open Source" ha surgido con fuerza y, pese a sus numerosos detractores, parece ser que es una posibilidad que incluso es considerada seriamente por empresas del sector. Como ejemplo de software desarrollado bajo este enfoque tenemos Linux, Apache, perl, samba, etc.