

Conceptos clave: organización vs arquitectura, microarquitectura, máquina multinivel

## ¿Que es un Computador?

*(Extracto del capítulo 1 del libro Tanenbaum (2000))*

Una computadora digital es una máquina que puede resolver problemas ejecutando las instrucciones que recibe de las personas. Una secuencia de instrucciones que describe cómo realizar cierta tarea se llama programa. Los circuitos electrónicos de una computadora pueden reconocer y ejecutar directamente un conjunto limitado de instrucciones sencillas, y todos los programas tienen que convertirse en una serie de esas instrucciones para que la computadora pueda ejecutarlos. Dichas instrucciones casi nunca son más complicadas que:

- Sumar dos números
- Verificar si un número es cero
- Copiar un dato de una parte de la memoria de la computadora a otra

Juntas, las instrucciones primitivas de una computadora constituyen un lenguaje que permite a las personas comunicarse con la computadora. Este lenguaje se llama lenguaje de máquina. Las personas que diseñan una computadora nueva deben decidir qué instrucciones incluirán en su lenguaje de maquina basados en los requerimientos de costo, rendimiento y tecnologías.

*(Extracto del capítulo 1 del libro Stallings (2006))*

Un computador es un sistema complejo compuesto por varios subsistemas interrelacionados. Cada uno cuenta con una estructura y funcionalidades. Las **funcionalidades** básicas de un computador son:

- Procesamiento de datos
- Almacenamiento de datos
- Transferencia de datos
- Control de estas tres funciones anteriores

Hay cuatro componentes estructurales principales:

- **Unidad Central de Procesamiento (CPU, Central Processing Unit):** controla el funcionamiento del computador y lleva a cabo sus funciones de procesamiento de datos. Se le llama simplemente procesador.
- **Memoria principal:** almacena datos.
- **E/S:** transfiere datos entre el computador y el entorno externo.
- **Sistema de interconexión:** es un mecanismo que proporciona la comunicación entre la CPU, la memoria principal y la E/S.

Para nuestros objetivos, el componente más interesante es la CPU. Sus principales componentes estructurales son:

- **Unidad de control:** controla el funcionamiento de la CPU y por tanto el computador.
- **Unidad aritmético-lógica (ALU, Arithmetic Logic Unit):** lleva a cabo las funciones de procesamiento de datos del computador.
- **Registros:** proporcionan almacenamiento interno de la CPU.

- **Interconexiones CPU:** son mecanismos que proporcionan comunicación entre la unidad de control, la ALU y los registros.

## Historia

*(Extractos del capítulo 1 del libro Tanenbaum (2000))*

*(Extractos del capítulo 1 del libro Stallings (2006))*

### Generación 0: Computadoras mecánicas [~1642-1945]

La primera máquina calculadora funcional fue construida por Blaise Pascal en 1642. Era totalmente mecánica, con engranajes y se impulsaba con una manivela operada a mano.

No sucedió algo relevante durante 150 años hasta que Charles Babbage comenzó a dedicar tiempo y dinero en construir **la máquina analítica**.

La máquina analítica tenía cuatro componentes: el almacén (memoria), el molino (la unidad de cómputo), la sesión de entrada (lector de tarjetas perforadas) y la sección de salida (salidas perforadas e impresas).

El gran avance de la máquina analítica fue su utilidad general: leía instrucciones de tarjetas perforadas y las ejecutaba. Algunas instrucciones ordenaban a la máquina obtener dos números del almacén, llevarlos al molino, efectuar operaciones sobre ellos y enviar el resultado de vuelta al almacén.

### Generación 1: Tubos de vacío [~1945-1955]

El estímulo para la computadora electrónica fue la Segunda Guerra Mundial. Los británicos buscaban decodificar los mensajes alemanes, codificados utilizando ENIGMA.

Para decodificarlos los británicos establecieron un laboratorio secreto que construyó una computadora electrónica llamada COLOSSUS, con la ayuda de Alan Turing. COLOSSUS entró en operación en 1943, pero el proyecto se mantuvo en secreto por 30 años, por lo que fue un callejón sin salida.

En Estados Unidos, John Mauchley y J. Presper Eckert, procedieron a construir una computadora electrónica a la que llamaron ENIAC para generar tablas de alcance para apuntar su artillería pesada. La ENIAC consistía en 18000 tubos de vacío y ocupaba 15000 pies cuadrados. Pesaba 30 toneladas y consumía 140 kilowatts de potencia.

La ENIAC era una máquina decimal y no binaria, es decir los números estaban representados en su forma decimal y la aritmética se realizaba también en el sistema decimal.

En términos de arquitectura la máquina tenía 20 registros, cada uno capaz de almacenar un número decimal de 10 dígitos (un registro en una memoria muy pequeña que puede almacenar un número menor que cierto número máximo de dígitos decimales). Cada dígito estaba representado por un anillo de 10 tubos de vacío.

ENIAC se programaba ajustando 6000 interruptores de multi-posición y conectando numerosas bases con múltiples cables. La máquina no quedó terminada sino hasta 1946, demasiado tarde para realizar su tarea.

Mientras Mauchley y Eckert trabajaban en el sucesor de la ENIAC, la EDVAC, una de las personas que participaron en el proyecto ENIAC, John Von Neumann, acudió al Institute of Advanced Studies de Princeton, para construir su propia versión de la ENIAC, la máquina IAS.

Una de las cosas que era obvia para Von Neumann, era que programar computadoras con un gran número de interruptores era lento, tedioso e inflexible y que podía ser más fácil si el programa se representara en forma adecuada para ser almacenado en la memoria de la computadora, junto con los datos. También percibió que la aritmética decimal en serie utilizada por la ENIAC, podía ser sustituida por una aritmética binaria.

El diseño básico, que él describió por primera vez, ahora se conoce como **máquina de Von Neumann**. Se usó en EDSAC, la primera computadora de programa almacenado y sigue siendo la base de casi todas las computadoras digitales aun ahora.

La máquina de Von Neumann tenía cinco partes básicas (Stallings, 2006):

- La memoria que almacena tanto datos como instrucciones.
- La unidad aritmética lógica (ALU) capaz de ejecutar instrucciones con datos binarios
- La unidad de control que interpreta las instrucciones en memoria y provoca su ejecución
- El equipo de entrada y salidas (E/S) dirigido por la unidad de control

## **Generación 2: Transistores [~1955 - 1965]**

*(Extractos del capítulo 1 del libro Tanenbaum (2000))*

El primer cambio importante en los computadores electrónicos vino con la sustitución de los tubos de vacío por los transistores. El transistor fue inventado en los Laboratorios Bell en 1947. Es más pequeño, más barato, disipa menos calor y puede ser usado de la misma forma que un tubo de vacío en la construcción de computadores.

También hay otros cambios. En la segunda generación se introdujeron unidades lógicas y aritméticas y unidades de control más completas, el uso de lenguajes de programación de alto nivel, y se proporcionó un software del sistema con el computador.

En esta generación sobresale Seymour Cray, quien dedicó su vida a construir máquinas cada vez más rápidas, ahora llamadas supercomputadoras entre las que figuraron la 6600, la 7600 y la Cray-1.

## **Generación 3: Circuitos integrados [~1965-1980]**

*(Extractos del capítulo 1 del libro Stallings (2006))*

A través de los años cincuenta y principios de los sesenta, los equipos electrónicos estaban compuestos en su mayoría por componentes discretos - transistores, resistencias, capacitores, etc -. Los componentes discretos se fabricaban separadamente, encapsulados en sus propios contenedores, y soldados o cableados juntos en tarjetas de circuitos en formas de panel, que eran instalados en computadores, osciloscopios y otros equipos electrónicos. Cuando un dispositivo necesitaba un transistor, había que soldar este, que tenía una forma de un pequeño tubo de metal y contenía una pieza de silicio de tamaño de la cabeza de un alfiler, en una tarjeta de circuitos.

Los primeros computadores de la segunda generación contenían alrededor de 10000 transistores. Esta cantidad creció a cientos de miles, haciendo cada vez más difícil la fabricación de máquinas nuevas y potentes.

En 1958 se dio la invención del circuito integrado, lo que dio inicio a la era de la microelectrónica. Los circuitos integrados utilizaron el hecho de que componentes como transistores, resistencias y conductores podían ser fabricados a partir de un semiconductor como el silicio para fabricar un circuito entero en un pequeño trozo de silicio, en vez de ensamblar componentes discretos hechos a partir de trozos de silicio separados en el mismo circuito.

Inicialmente solo podían fabricarse y encapsularse juntas, unas pocas puertas o celdas de memoria. A estos primeros circuitos integrados se les llama de pequeña escala de integración (SSI, Small-Scale Integration). A medida que el tiempo paso, fue posible encapsular más y más componentes en un mismo chip.

### **Ley de Moore**

Se trata de una ley empírica, formulada por el cofundador de Intel, Gordon E. Moore, el 19 de abril de 1965, cuyo cumplimiento se ha podido constatar hasta hoy.

La ley de Moore expresa que aproximadamente cada dos años se duplica el número de transistores en un microprocesador.

A pesar de que la ley originalmente fue formulada para establecer que la duplicación se realizaría cada año, posteriormente Moore redefinió su ley y amplió el periodo a dos años.

En esta generación nace la primera familia de computadores. El System/360 de IBM. Las características de la familia son:

- Conjunto de instrucciones similar o idéntico
- Sistemas operativos similares o idénticos
- Velocidad creciente
- Número creciente de puertos de E/S
- Costo creciente

Otra importante innovación de esta generación, fue la multiprogramación: tener varios programas en memoria a la vez de modo que mientras uno estaba esperando el término de una operación de entrada/salida otro podía realizar cálculos.

### **Generación 4: Integración a muy grande escala [~1980-?]**

Con la introducción de la integración a gran escala (LSI, large-scale integration) y la integración a muy gran escala (VLSI) se había hecho posible colocar primero decenas de miles, luego cientos de miles de transistores en un solo chip. Este avance dio paso a computadoras más pequeñas y mas rápidas.

Dos de los cambios más importantes de esta generación son:

## **Memoria semiconductora**

En los años cincuenta y sesenta, la mayoría de las memorias de los computadores se hacían con pequeños anillos de material ferromagnético (llamado núcleo), cada uno con un dieciseisavo de pulgada de diámetros. La memoria era rápida, pero voluminosa y usaba lectura destructiva, por consiguiente, era necesario hacer circuitos que recuperaran el dato tan pronto como se extrae.

En 1970, Fairchild produjo la primera memoria semiconductora con relativa capacidad. Este chip podía tener 256 bits de memoria. Era no destructiva y mucho más barata que un núcleo, sin embargo, el costo por bit era mayor que el de un núcleo.

En 1974, el precio por bit de memoria semiconductora cayó por debajo del precio por bit de memoria de núcleo.

Desde 1970, la memoria semiconductora ha tenido varias generaciones, cada uno proporciona cuatro veces más densidad de almacenamiento que la generación previa, junto con un menor coste por bit y mayor velocidad de acceso.

## **Microprocesadores**

Al igual que la densidad de los elementos en los chips de memoria continuaba creciendo, también lo hacía la densidad de los elementos de procesamiento.

En 1971 nace el microprocesador, cuando Intel desarrolló su 4004, el primer chip que contenía todos los componentes de la CPU en un solo chip. El 4004 podía sumar dos números de cuatro bits y multiplicar solo con sumas sucesivas.

El siguiente paso importante en la evolución de los microprocesadores fue la introducción en 1972 del Intel 8008. Este fue el primer microprocesador de ocho bits y era casi dos veces más complejo que el 4004.

En 1974 se introdujo el 8080. Este fue el primer microprocesador de uso general. Al igual que el 8008 es un procesador de 8 bits, pero más rápido y con un conjunto de instrucciones más rico y mayor capacidad de direccionamiento.

Sobre la misma época empezaron a desarrollarse microprocesadores de 16 bits. Uno de ellos fue el 8086. Para 1981-1985 se desarrollaron microprocesadores de un solo chip de 32 bits.

[Ver STALLINGS para tablas]

## Arquitectura vs Organización

*(Extracto del capítulo 1 del libro Stallings (2006))*

La **arquitectura** de computadores se refiere a los atributos de un sistema que son visibles a un programador, o para decirlo de otra manera, aquellos atributos que tienen un impacto directo en la ejecución lógica de un programa.

Entre los ejemplos de atributos arquitectónicos se encuentran el conjunto de instrucciones, el número de bits usados para representar varios tipos de datos, mecanismos de E/S y técnicas para direccionamiento de memoria.

La **organización** de computadores se refiere a las unidades funcionales y sus interconexiones, que dan lugar a especificaciones arquitectónicas. También se conoce como **microarquitectura**.

Entre los atributos de organización se incluyen aquellos detalles de hardware transparentes al programador, tales como señales de control, interfaces entre el computador y los periféricos y la tecnología de memoria usada.

Para poner un ejemplo, una cuestión de diseño arquitectónico es si el computador tendrá la instrucción de multiplicar. Una cuestión de organización es si esa instrucción será implementada por una unidad especializada en multiplicar o por un mecanismo que haga un uso iterativo de la unidad de suma del sistema. La decisión de organización puede estar basada en la frecuencia prevista del uso de la instrucción de multiplicar, el coste y el tamaño físico de una unidad especializada en multiplicar.

### ¿Por qué estudiar la organización y arquitectura de computadores?

- Para comprender las implicaciones de gastar más en distintas alternativas, como en un cache grande o una velocidad de reloj mayor, para la toma de decisiones.
- Muchos procesadores no forman partes de PC o servidores, sino en sistemas embebidos. Un diseñador debe ser capaz de programar y depurar el sistema a nivel de código máquina.
- Los conceptos utilizados tienen aplicación en otros cursos. En particular, la forma en que el computador ofrece un soporte arquitectural a los lenguajes de programación y funciones en principio propias del sistema operativo.

**Referencias:**

1. J Hennesy and David Patterson (2012)

Computer Architecture: A Quantitative Approach. 5th Edition. Elsevier – Morgan Kaufmann. [Cap 1]

2. Andrew S. Tanenbaum (2000)

Organización de computadoras - Un enfoque estructurado. [Cap 1]

3. William Stallings (2006)

Organización y arquitectura de computadores. [Cap 1, Cap 2]