



Organización y Arquitectura de las Computadoras (OAC)

Maestro
M.I. Jose Isabel García Rocha

Introducción

Organización y Arquitectura de las Computadoras

- En un entorno tecnológico donde la eficiencia y el rendimiento son factores clave, es indispensable que el ingeniero en computación no solo domine el desarrollo de software, sino que también **entienda la estructura interna del hardware con el que trabaja**. Esta asignatura permite ese puente entre ambos mundos: el del código y el del circuito.

⌚ Propósito de la materia

Esta asignatura tiene como objetivo que el estudiante:

- Comprenda la **organización interna y la arquitectura lógica** de los computadores.
- Identifique los **factores que afectan su rendimiento**.
- Utilice ese conocimiento para desarrollar soluciones computacionales más **óptimas, eficientes y responsables**.
- Sea capaz de **programar a bajo y alto nivel** sobre sistemas basados en microprocesadores.

✖ Importancia en la formación del ingeniero en computación

El conocimiento adquirido en OAC permite:

- **Desarrollar software eficiente**, al comprender cómo se ejecutan las instrucciones a nivel de hardware.
- **Optimizar el rendimiento de aplicaciones**, ajustando algoritmos y estructuras de datos en función de la arquitectura.
- **Diseñar sistemas embebidos**, microcontroladores o hardware especializado, al dominar cómo se interconectan y controlan sus componentes internos.
- Prepararse para áreas más avanzadas como:
 - Arquitecturas paralelas y multiprocesamiento.
 - Sistemas operativos y compiladores.
 - Diseño digital y sistemas embebidos.

Unidad 1 - Computadoras

1. ¿Qué es un microprocesador?

Un microprocesador es una **unidad central de procesamiento (CPU)** contenida en un solo **círcuito integrado (chip)**. Esta innovación permitió reemplazar múltiples componentes lógicos dispersos por un único chip, marcando un antes y un después en la miniaturización de la electrónica.

Diversidad en los tipos de computadoras

- Existen numerosos dispositivos que, con propiedad, pueden llamarse **computadores**.
- Esta variedad incluye desde:
 - **Microprocesadores de un solo chip**, muy económicos (unos pocos dólares).
 - Hasta **supercomputadoras**, cuyo costo asciende a **decenas de millones de dólares**.
- Las diferencias no solo son de **precio**, sino también de:
 - **Tamaño físico**,
 - **Capacidades de procesamiento**,
 - **Ámbitos de aplicación** (uso industrial, científico, doméstico, etc.).

Rápido avance tecnológico

- La evolución de la tecnología computacional no se ha detenido y continúa acelerándose.
- **Los cambios impactan todos los niveles**, desde:
 - **La tecnología de circuitos integrados** (hardware fundamental),
 - Hasta el desarrollo de **organización paralela**, es decir, técnicas para hacer trabajar múltiples componentes al mismo tiempo (computación paralela).

Principios constantes

- Aunque el entorno tecnológico es **amplio y cambiante**, existen **conceptos fundamentales comunes** que se aplican a cualquier diseño de computador.
- Estos principios son la base de la arquitectura y organización de cualquier sistema.
- Su implementación específica depende de:
 - **El estado actual de la tecnología** disponible,
 - **Las prioridades del diseñador**: por ejemplo, minimizar el costo, maximizar el rendimiento o adaptarse a una aplicación específica.

Unidad 1 - Computadoras

Organización y Arquitectura de las Computadoras

Definiciones Clave

- **Arquitectura de computadores:**

Se refiere a los **atributos visibles para el programador**, es decir, aquellos aspectos que afectan directamente la ejecución lógica de un programa.

Ejemplos:

- Conjunto de instrucciones (ISA)
- Cantidad de bits para representar datos (números, caracteres)
- Técnicas de direccionamiento de memoria

- **Organización de computadores:**

Se refiere a las **unidades funcionales internas y su interconexión**, que implementan físicamente los atributos arquitectónicos. Estos detalles **no son visibles para el programador**.

Ejemplos:

- Señales de control
- Interfaces con periféricos
- Tecnología de memoria
- Implementación física de instrucciones

Diferencia clave entre arquitectura y organización

- La **arquitectura** especifica **qué** debe hacer el sistema.
- La **organización** define **cómo** se lleva a cabo físicamente esa funcionalidad.

Ejemplo práctico:

- Decidir si el computador tendrá una instrucción de **multiplicación** es una **decisión arquitectónica**.
- Determinar si esta multiplicación se implementará con una **unidad dedicada** o con un **mecanismo iterativo** basado en sumas es una **decisión organizacional**.

Factores que influyen en la organización:

- Frecuencia esperada de uso de la instrucción
- Velocidad comparativa entre métodos
- Costos y tamaño físico del hardware

Importancia de la distinción

- Históricamente, la separación entre arquitectura y organización ha sido esencial.
- **Fabricantes como IBM** han ofrecido **familias de computadores** con la misma arquitectura pero diferentes organizaciones.
- Esto permite:
 - Escalabilidad del hardware sin modificar el software
 - Preservar la inversión en programas ya desarrollados
 - Progresar tecnológicamente sin romper compatibilidad

Ejemplo real: IBM System/370

- Lanzado en 1970 con varios modelos.
- Misma arquitectura en toda la línea, pero distintas organizaciones según capacidades.
- Clientes podían actualizar su equipo sin perder compatibilidad con el software.
- A lo largo de las décadas, IBM mejoró los modelos manteniendo la **misma arquitectura básica** con algunas mejoras.
- Este enfoque ayudó a que el **System/370** sobreviva hasta hoy como base de las **grandes líneas de productos IBM**.

Caso especial: Microcomputadoras y RISC

- En **microcomputadoras**, la relación entre arquitectura y organización es mucho más estrecha.
- Los avances tecnológicos permiten no solo cambios organizativos, sino también el diseño de **nuevas arquitecturas más potentes**.
- Hay menor exigencia de compatibilidad entre generaciones.
- Esto favorece una **mayor flexibilidad** e innovación entre arquitectura y organización.
- **Ejemplo notable:** Arquitecturas RISC (Reduced Instruction Set Computer), que priorizan un conjunto de instrucciones simplificado y eficiente.

Unidad 1 - Computadoras

Estructura y Funcionamiento de un Computador

Los computadores son sistemas jerárquicos

- Un computador es un **sistema altamente complejo**, compuesto por **millones de componentes electrónicos**.
- Para entenderlo y diseñarlo eficazmente, es necesario adoptar un enfoque que aproveche su **naturaleza jerárquica**.

¿Qué es un sistema jerárquico?

- Es un conjunto de **subsistemas interrelacionados**, donde cada uno de ellos también puede descomponerse jerárquicamente.
- Este enfoque **permite dividir la complejidad** y analizar cada parte por separado, facilitando el diseño y la descripción del sistema.

Diseño basado en jerarquía

- El diseñador solo necesita enfocarse en **un nivel del sistema a la vez**.
- En cada nivel:
 - Se consideran **componentes abstractos** y sus **interacciones**.
 - No es necesario conocer los detalles del nivel inferior, solo una descripción simplificada de su comportamiento.

Dos conceptos clave en cada nivel

1. **Estructura**
→ Cómo están **interconectados los componentes** del nivel actual.
2. **Funcionamiento**
→ Qué **hace cada componente individualmente** dentro del sistema.

Opciones para describir un computador

Existen dos formas de abordar la descripción:

- **Bottom-up (de abajo hacia arriba):**
Comenzar con componentes básicos y construir niveles superiores.
→ Menos efectivo y más complejo.
- **Top-down (de arriba hacia abajo):**
Comenzar con una **visión global del sistema** y luego descomponerlo en partes.
→ Más clara, **más eficaz** y ampliamente utilizada.
→ Este es el enfoque que se adopta en la materia.

Unidad 1 - Computadoras

Funcionamiento de un Computador

Principio General

A pesar de su complejidad interna, el **funcionamiento de un computador** se puede entender con base en **cuatro funciones fundamentales**. Estas funciones son esenciales para la operación de cualquier sistema computacional moderno.

Funciones básicas del computador

1. Procesamiento de datos

- Función principal del sistema.
- Los **datos pueden tener distintas formas** (números, texto, imágenes, etc.).
- Aunque existen múltiples aplicaciones, los métodos básicos de procesamiento son limitados.
- Este procesamiento se lleva a cabo en la **unidad central de procesamiento (CPU)**.

2. Almacenamiento de datos

- Un computador **siempre necesita almacenar datos**, incluso cuando el procesamiento ocurre "al vuelo".
- Existen **dos niveles fundamentales de almacenamiento**:
 - **Almacenamiento de corto plazo**:
 1. Se refiere al uso de **memoria temporal (RAM)** durante la ejecución de instrucciones.
 2. Retiene datos que están siendo procesados en ese momento.
 - **Almacenamiento de largo plazo**:
 1. Involucra la conservación de **archivos y datos persistentes**.
 2. Permite su **posterior recuperación o actualización**.
- Utiliza dispositivos como discos duros, SSDs o memorias no volátiles.

3. Transferencia de datos

- El computador debe **interactuar con el entorno exterior**.
- Esta interacción ocurre mediante dos mecanismos:
 - **Entrada/Salida (E/S)**:
 1. Transferencia de datos con **dispositivos periféricos conectados directamente**.
 2. Ejemplos: teclado, mouse, disco externo, pantalla.
 - **Comunicación de datos**:
 1. Transferencia de datos a través de **medios de larga distancia**.
 2. Implica redes de comunicación (internet, LAN, etc.).
- Dispositivos remotos: servidores, computadoras externas, sensores inalámbricos.

4. Control

- Toda operación en el computador debe estar **regida por un control central**.
- Este control es ejercido por:
 - **El programa que provee instrucciones** al sistema.
 - **La unidad de control interna** que:
 1. Coordina el acceso a los recursos.
 2. Dirige la interacción entre procesamiento, almacenamiento y transferencia de datos.
 3. Activa o desactiva componentes según la instrucción ejecutada.

Unidad 1 - Computadoras

Funcionamiento de un Computador

Cuatro tipos básicos de operación (Figura 1.2)

Estas operaciones reflejan la manera en que el computador ejecuta sus funciones fundamentales:

1. **Transferencia directa de datos entre dispositivos**
(Figura 1.2a)
 - Ejemplo: de un escáner a una impresora sin procesar datos.
2. **Transferencia entre el entorno externo y la memoria**
(Figura 1.2b)
 - Leer o escribir archivos desde/hacia el almacenamiento.
3. **Procesamiento de datos ya almacenados**
(Figura 1.2c)
 - Operaciones sobre datos previamente guardados en memoria.
4. **Procesamiento en tránsito**
(Figura 1.2d)
 - Modificación de datos mientras se transfieren entre la memoria y el entorno.

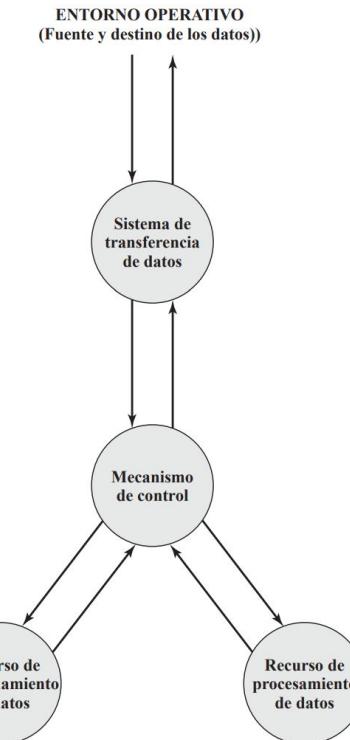


Figura 1.1. Una visión funcional de un computador.

Unidad 1 - Computadoras

Funcionamiento del Computador

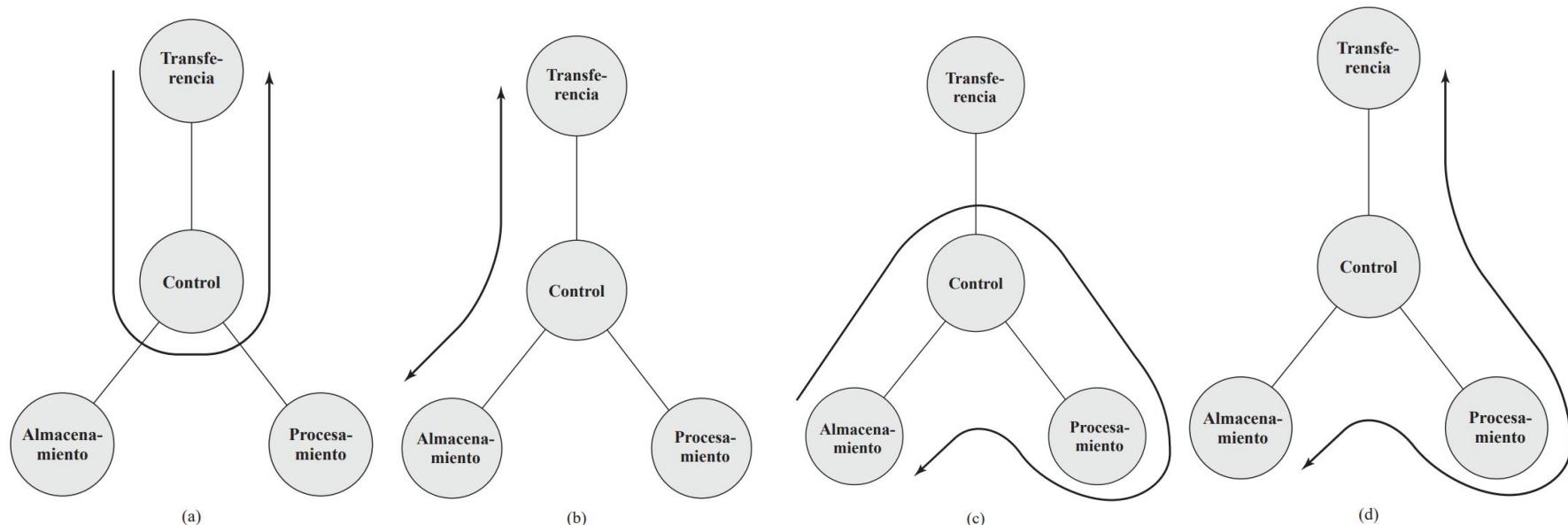


Figura 1.2. Posibles operaciones de un computador.

Unidad 1 - Computadoras

Estructura del Computador

1. Visión general (Figura 1.3)

- Un computador es una **entidad que interactúa con su entorno externo**.
- Todas sus conexiones externas se clasifican en:
 - **Dispositivos periféricos** (entrada/salida local)
 - **Líneas de comunicación** (entrada/salida remota)
- Aunque estas conexiones son importantes, el enfoque de la materia se centra en la **estructura interna** del computador.

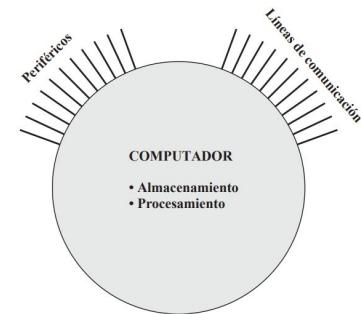


Figura 1.3. El computador.

2. Componentes estructurales principales (Figura 1.4)

A nivel superior, el computador se compone de **cuatro bloques fundamentales**:

1. **Unidad Central de Procesamiento (CPU)**
 - **Controla** el funcionamiento general del sistema.
 - **Ejecuta** instrucciones de procesamiento de datos.
 - Es el "cerebro" del sistema.
 - También se le llama **procesador**.
2. **Memoria principal**
 - **Almacena datos e instrucciones**.
 - Es esencial para mantener información durante la ejecución de programas.
3. **Unidad de Entrada/Salida (E/S)**
 - Permite la **comunicación con el entorno externo**.
 - Incluye periféricos locales y dispositivos de red o comunicación remota.
4. **Sistema de interconexión**
 - Es el **medio físico y lógico** que conecta la CPU, memoria y E/S.
 - Incluye buses de datos, direcciones y control.

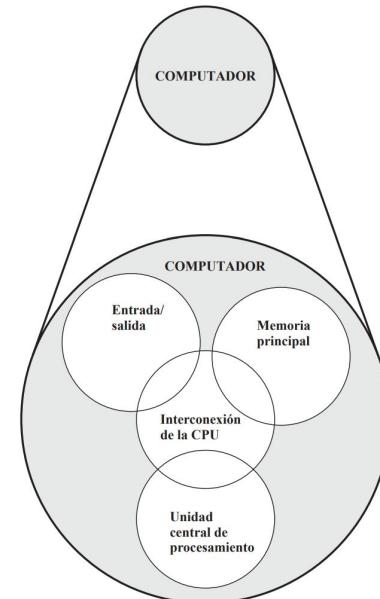


Figura 1.4. El computador: estructura del nivel superior.

En algunos sistemas modernos puede haber más de un procesador, lo que da lugar a arquitecturas multiprocesador.

Unidad 1 - Computadoras

Estructura del Computador

3. Estructura interna de la CPU (Figura 1.5)

La CPU, siendo el componente más complejo, se divide en los siguientes elementos:

1. **Unidad de control**
 - o Dirige el **funcionamiento interno** de la CPU.
 - o Coordina el flujo de datos y ejecución de instrucciones.
2. **Unidad aritmético-lógica (ALU)**
 - o Realiza **operaciones matemáticas y lógicas**.
 - o Es el núcleo del procesamiento de datos.
3. **Registros**
 - o **Memoria interna** de alta velocidad dentro de la CPU.
 - o Almacena datos temporales, instrucciones y direcciones.
4. **Interconexiones internas de la CPU**
 - o Buses internos que **permiten la comunicación** entre la unidad de control, ALU y registros.

4. Unidad de control: implementación microprogramada (Figura 1.6)

- Una forma común de implementar la **unidad de control** es mediante **microprogramación**.
- En este enfoque:
 - o La unidad de control ejecuta **microinstrucciones** que definen paso a paso cómo se deben realizar las instrucciones de máquina.
 - o Estas microinstrucciones están almacenadas en una **memoria de control**.
- Esta arquitectura es más **flexible y fácil de modificar**.

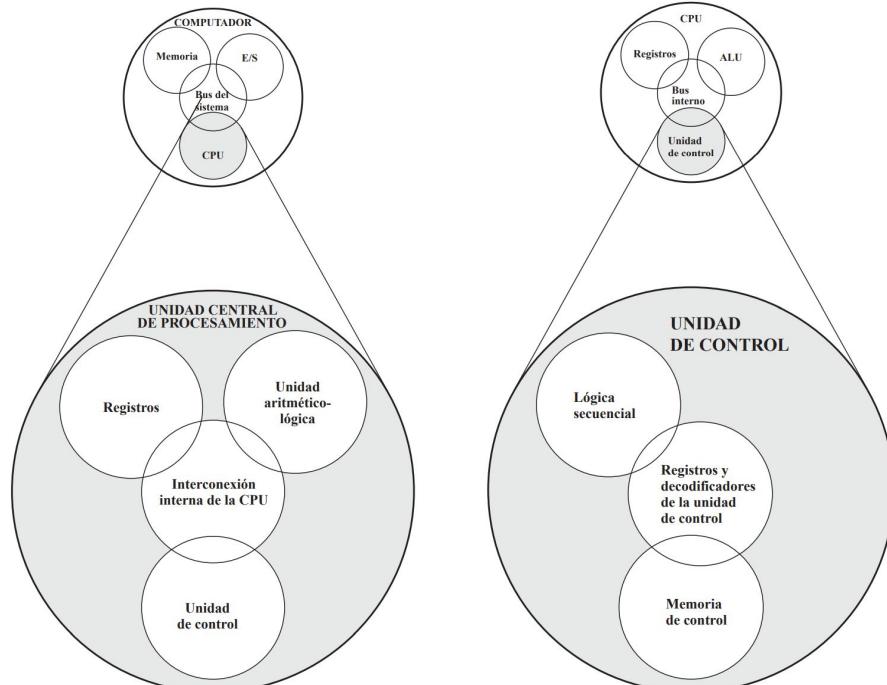


Figura 1.5. La unidad central de procesamiento (CPU).

Figura 1.6. La unidad de control.

Unidad 1 - Computadoras

Evolución y Prestaciones de los Computadores

⌚ Una breve historia de los computadores

El desarrollo de los computadores ha seguido una evolución marcada por avances tecnológicos clave en sus componentes. Esta evolución se divide en generaciones:

📍 Primera generación: tubos de vacío

- Utilizados entre las décadas de 1940 y 1950.
- Equipos grandes, lentos y con alto consumo energético.
- Programación en lenguaje máquina.
- Ejemplo: ENIAC.

📍 Segunda generación: transistores

- Década de 1950 a 1960.
- Reemplazo de tubos de vacío por transistores.
- Reducción de tamaño y aumento de fiabilidad.
- Se introducen los lenguajes ensamblador y de alto nivel como FORTRAN.

📍 Tercera generación: circuitos integrados

- A partir de los años 60.
- Se integran múltiples transistores en un solo chip.
- Nacimiento del concepto de **familias de computadores** con compatibilidad entre modelos.
- Aumento significativo en velocidad, reducción de costos.

📍 Últimas generaciones

- Incorporación de **microprocesadores, arquitecturas RISC, sistemas paralelos y multiprocesadores**.
- Uso de **nanotecnología, sistemas en chip (SoC)** y avances en diseño lógico y computación paralela.

Diseño buscando mejores prestaciones

El rendimiento de un computador depende de múltiples factores. Para lograr **mejores prestaciones**, los diseñadores trabajan en:

◆ Velocidad del microprocesador

- Disminución del tamaño de los transistores (menor distancia = mayor velocidad).
- Aumento de la frecuencia de reloj.
- Introducción de **segmentación de cauce (pipelining), ejecución paralela y ejecución especulativa**.

◆ Equilibrio de prestaciones

- Es importante mantener el **balance** entre los distintos subsistemas: CPU, memoria y E/S.
- La CPU ha evolucionado más rápido que la memoria, lo que genera **desacoplos de velocidad**.

◆ Mejoras arquitectónicas

- Uso de **memorias caché**.
- **Anchos de bus mayores** entre la memoria y el procesador.
- Circuitos de memoria **más inteligentes y rápidos**.

 *Diseñar bien no es solo hacer un procesador rápido, sino lograr que todo el sistema funcione eficientemente de manera integrada.*

Evolución del Pentium y del PowerPC

Pentium (Intel)

- Uno de los microprocesadores más influyentes en la arquitectura x86.
- Introdujo mejoras como:
 - Segmentación profunda,
 - Ejecución fuera de orden (adelanta ejecución de instrucciones),
 - Cachés L1 y L2 integradas,
 - Tecnología MMX para multimedia (una instrucción procesa múltiples datos),
 - Instrucciones SIMD (Single Instruction, Multiple Data) y más núcleos en versiones modernas.

PowerPC (IBM, Motorola, Apple)

- Basado en arquitectura RISC.
- Mayor simplicidad en el conjunto de instrucciones.
- Alta eficiencia energética y buen rendimiento.
- Ampliamente usado en sistemas embebidos, consolas y equipos Apple en su época.

Unidad 1 - Computadoras

Primera Generación de Computadoras (1940–1956)

💡 Contexto histórico

- Surgieron como respuesta a necesidades **militares** durante la Segunda Guerra Mundial.
- Se caracterizan por el uso de **tubos de vacío**, programación manual, consumo elevado de energía y grandes dimensiones físicas.

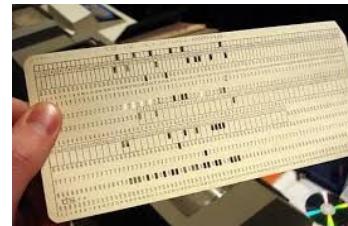
⚙️ ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)

- **Diseñadores:** John Mauchly y J. Presper Eckert (Universidad de Pennsylvania).
- **Finalidad inicial:** resolver rápidamente ecuaciones balísticas para el Ejército de EE.UU.
- **Inicio del proyecto:** 1943
- **Terminación:** 1946

📋 Características técnicas

- Más de **18,000 tubos de vacío**
- **30 toneladas** de peso
- **1,400 metros cuadrados** de espacio
- **140 kilowatts** de consumo eléctrico
- Capacidad de realizar **5,000 sumas por segundo**
- **Decimal**, no binario
- Memoria: **20 acumuladores** de 10 dígitos cada uno
- Programación mediante **conmutadores y cables manuales**

| | |
|----------|------------------------------|
| Persona: | (spm - sumas por minuto) |
| - | A mano: 2 a 3 spm. |
| - | Con calculadora: 5 a 10 spm. |
| - | Mul/Div 1 a 2 por min. |
| ENIAC: | |
| - | 5,000 Sumas por seg. |
| - | 357 Mul por seg. |
| - | 35 Div por seg. |



🧠 Arquitectura de von Neumann

- Surgió por las limitaciones del ENIAC (programación manual).
- Propone el concepto de **programa almacenado**: instrucciones y datos en la misma memoria.
- Diseño formalizado en el **EDVAC** (1945) y materializado en el **IAS** (1952).

📐 Estructura general del IAS (Institute for Advanced Study Computer)

- **Memoria principal:** para datos e instrucciones
- **ALU:** operaciones aritméticas y lógicas
- **Unidad de control:** secuencia de instrucciones
- **Entrada/Salida:** interacción con el entorno

📋 Componentes del IAS

- **MBR** (Memory Buffer Register)
- **MAR** (Memory Address Register)
- **IR** (Instruction Register)
- **IBR** (Instruction Buffer Register)
- **PC** (Program Counter)
- **AC y MQ**: acumuladores

⌚ Ciclo de instrucción

- Subciclos: **captación** y **ejecución**
- Usa **códigos de operación** (codop) y direcciones
- Ejecución controlada por la **unidad de control**

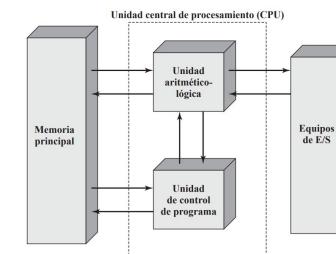


Figura 2.1. Estructura del computador IAS.

Unidad 1 - Computadoras

Proposición de von Neumann (1945)

Von Neumann identifica los **componentes esenciales** que debe tener un computador electrónico para ser **versátil y de propósito general**. Los divide en **cinco partes específicas**, que hoy reconocemos como la base de la arquitectura de las computadoras modernas.

1 Parte aritmética central (CA – Central Arithmetical)

- Función: ejecutar las **operaciones matemáticas fundamentales**: suma, resta, multiplicación y división.
- Justificación: cualquier computadora debe realizar estas operaciones **miles de veces por segundo**.
- Equivalente actual: la **ALU (Unidad Aritmético-Lógica)** de la CPU.

2 Control central (CC – Central Control)

- Función: encargarse de la **secuenciación lógica** de las operaciones.
- Diferencia clave: distingue entre
 - Las **instrucciones específicas** (el programa) que resuelven un problema.
 - El **órgano de control general** que hace que esas instrucciones se ejecuten.
- Equivalente actual: la **Unidad de Control** de la CPU.

3 Memoria (M)

- Función: almacenar tanto **instrucciones** como **datos** en un mismo espacio.
- Observación:
 - Los programas largos y complejos requieren gran cantidad de memoria.
 - La memoria es esencial para la versatilidad del sistema.
- Equivalente actual: la **RAM y almacenamiento primario** de un computador.

4 Entrada (I – Input)

- Función: transferir información desde el **medio externo** hacia el sistema (R – *Recording*).
- Restricción: la transferencia siempre debe ir a **memoria primero**, no directamente a la unidad de control o la parte aritmética.
- Equivalente actual: **teclados, lectores de tarjetas perforadas, sensores, periféricos de entrada**.

5 Salida (O – Output)

- Función: transferir información desde la **Memoria** hacia el mundo exterior.
- Restricción: siempre debe salir **desde memoria**, no directamente desde la unidad aritmética.
- Equivalente actual: **pantallas, impresoras, dispositivos de salida**.

🧠 Analogía con el sistema nervioso

Von Neumann compara el computador con el **cerebro humano**:

- **CA, CC y M** → neuronas asociativas (procesamiento y memoria).
- **I y O** → neuronas sensoriales y motoras (entrada y salida de información).

📌 Importancia histórica

- Este esquema es lo que hoy llamamos **Arquitectura de von Neumann**.
- Es la base de casi todos los computadores modernos, incluso los actuales PCs y smartphones.
- La gran novedad fue la idea de que **datos e instrucciones comparten la misma memoria** → concepto de **programa almacenado**.

Unidad 1 - Computadoras

Primera Generación de Computadoras (1940–1956)

Arquitectura de von Neumann

2.2. **Primero:** como el dispositivo es principalmente un computador, tendrá que realizar las operaciones aritméticas elementales muy frecuentemente. Estas son la suma, la resta, la multiplicación y la división: $+$, $-$, \times , \div . Es por tanto razonable que contenga elementos especializados solo en estas operaciones.

Debe observarse, sin embargo, que aunque este principio parece consistente, la manera específica de cómo se aplica requiere un examen cuidadoso... En cualquier caso, tendrá que existir la parte de *aritmética central* que constituirá la *primera parte específica: CA (Central Arithmetical)*.

2.3. **Segundo:** el control lógico del dispositivo, es decir, la secuenciación adecuada de las operaciones, debe ser realizado eficientemente por un órgano de control central. Si el dispositivo tiene que ser *versátil*, es decir, lo más cercano posible a servir para *todo uso*, entonces hay que hacer una distinción entre las instrucciones específicas que se dan y definir un problema particular, y los órganos de control general que se ocupan de que se lleven a cabo estas instrucciones —sean cuales sean—. Las primeras deben almacenarse en algún lugar; las otras deben representarse definiendo partes operativas del dispositivo. Con el *control central* nos referimos solo a esta última función, y los órganos que la realizan forman la *segunda parte específica: CC (Central Control)*.

2.4. **Tercero:** cualquier dispositivo que realice secuencias largas y complicadas de operaciones (concretamente de cálculo) debe tener una memoria considerable [...].

(b) Las instrucciones que gobiernan un problema complicado pueden constituir un material considerable, sobre todo si el código es circunstancial (lo cual ocurre en la mayoría de las situaciones).

Este material debe tenerse en cuenta [...].

En cualquier caso, la memoria total es la tercera parte específica del dispositivo: M (Memoria).

2.6. Las tres partes específicas CA, CC (juntas C) y M corresponden a las neuronas *asociativas* del sistema nervioso humano. Queda por discutir los equivalentes a las neuronas *sensoriales* o *afferentes* y las *motoras* o *eferentes*. Estos son los órganos del dispositivo de *entrada* y *salida* [...].

El dispositivo tiene que estar dotado con la habilidad de mantener contacto de entrada y salida (sensorial y motor) con medios específicos de este tipo (cf.1.2): el medio será llamado el *medio de grabación exterior del dispositivo: R (Recording) [...]*.

2.7. **Cuarto:** el dispositivo tiene que tener órganos para transferir [...] información a partir de R a sus partes específicas C y M. Estos órganos forman su *entrada, la cuarta parte específica: I (Input)*. Veremos que lo mejor es hacer todas las transferencias a partir de R (mediante I) hasta M y nunca directamente a partir de C [...].

2.8. **Quinto:** El dispositivo tiene que tener órganos para transferir [...] información a partir de sus partes específicas C y M hacia R. Estos órganos forman su *salida, la quinta parte específica: O (Output)*. Veremos que es mejor, de nuevo, hacer todas las transferencias a partir de M (mediante O) a R, y nunca directamente a partir de C [...].

 Estructura de la memoria del IAS

- La memoria consta de **1,000 posiciones de almacenamiento**, conocidas como **palabras**.
 - Cada palabra tiene **40 bits** (dígitos binarios).
 - Se puede almacenar:
 - Un **número binario de 40 bits** (1 bit de signo + 39 bits de valor), o
 - **Dos instrucciones de 20 bits cada una.**

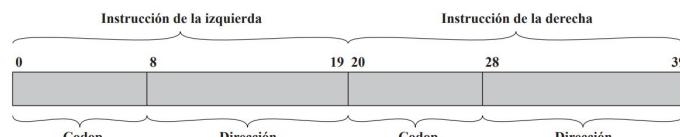
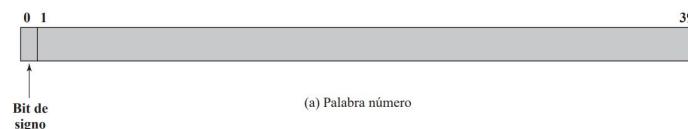


Figura 2.2. Formatos de memoria IAS.

Unidad 1 - Computadoras

 Ciclo de instrucción del computador IAS

El funcionamiento del IAS se basa en la **repetición constante de un ciclo de instrucción**, que consta de **dos subciclos fundamentales: captación y ejecución**.

1. Ciclo de captación (Fetch cycle)

Durante este subciclo, el sistema obtiene de la memoria la siguiente instrucción a ejecutar:

1. El **Program Counter (PC)** indica la dirección de la palabra en memoria que contiene la(s) próxima(s) instrucción(es).
 2. Esa palabra se transfiere desde memoria al **Memory Buffer Register (MBR)**.
 3. Si la palabra contiene **dos instrucciones** (una izquierda y otra derecha):
 - La izquierda se carga en el **Instruction Register (IR)** (codop) y **Memory Address Register (MAR)** (dirección).
 - La derecha se guarda temporalmente en el **Instruction Buffer Register (IBR)**.
 4. Si el IBR ya contiene una instrucción pendiente (de una palabra previa), se transfiere directamente al IR/MAR sin volver a acceder a memoria.

¿Por qué se usa indirección?

- Para simplificar la electrónica, se usa un solo registro para especificar la dirección en memoria para lectura o escritura, y un solo registro para la fuente o el destino.

2. Ciclo de ejecución (Execute cycle)

Una vez la instrucción ha sido captada y los registros están cargados:

1. El **código de operación (codop)** del IR es **interpretado por los circuitos de control**.
 2. La **unidad de control** genera señales que:
 - Activan las rutas de datos necesarias,
 - Ejecutan operaciones en la **ALU** (si corresponde),
 - Gestionan transferencias entre registros o entre la memoria y registros.
 3. El resultado (si existe) se almacena en:
 - **AC** (Acumulador),
 - **MQ** (si es una multiplicación/división),

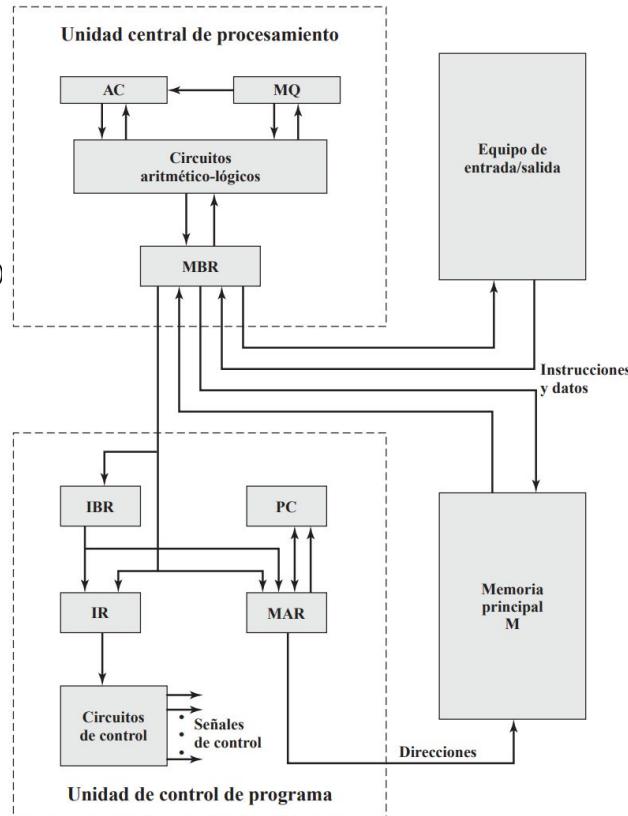


Figura 2.3. Estructura ampliada del computador IAS.

Unidad 1 - Computadoras

Tabla 2.1. El conjunto de instrucciones del IAS.

| Tipo de instrucción | Codop | Representación simbólica | Descripción |
|-----------------------------|----------|--------------------------|--|
| Transferencia de datos | 00001010 | LOAD MQ | Transferir el contenido del registro MQ al acumulador AC |
| | 00001001 | LOAD MO, M(X) | Transferir el contenido de la posición de memoria X a MQ |
| | 00100001 | STOR M(X) | Transferir el contenido del acumulador a la posición de memoria X |
| | 00000001 | LOAD M(X) | Transferir M(X) al acumulador |
| | 00000010 | LOAD - M(X) | Transferir - M(X) al acumulador |
| | 00000011 | LOAD IM(X)I | Transferir el valor absoluto de M(X) al acumulador |
| | 00000100 | LOAD - IM(X)I | Transferir - IM(X)I al acumulador |
| Salto incondicional | 00001101 | JUMP M(X,0:19) | Captar la siguiente instrucción de la mitad izquierda de M(X) |
| | 00001110 | JUMP M(X,20:39) | Captar la siguiente instrucción de la mitad derecha de M(X) |
| Salto condicional | 00001111 | JUMP + M(X,0:19) | Si el número en el acumulador es no negativo, captar la siguiente instrucción de la mitad izquierda de M(X) |
| | 00010000 | JUMP + M(X,20:39) | Si el número en el acumulador es no negativo, captar la siguiente instrucción de la mitad derecha de M(X) |
| Aritmética | 00000101 | ADD M(X) | Sumar M(X) a AC; colocar el resultado en AC |
| | 00000111 | ADD IM(X)I | Sumar IM(X)I a AC; colocar el resultado en AC |
| | 00000110 | SUB M(X) | Restar M(X) a AC; colocar el resultado en AC |
| | 00001000 | SUB IM(X)I | Restar IM(X)I a AC; colocar el resultado en AC |
| | 00001011 | MUL M(X) | Multiplicar M(X) por MO: colocar los bits más significativos del resultado de AC, y los menos significativos en MQ |
| | 00001100 | DIV M(X) | Dividir AC por M(X); colocar el cociente en MQ y el resto en AC |
| | 00010100 | LSH | Multiplicar el acumulador por 2; esto es, desplazar su contenido una posición a la derecha |
| Modificación de direcciones | 00010101 | RSH | Dividir el acumulador por 2; esto es, desplazar su contenido una posición a la derecha |
| | 00010010 | STOR M(X,8:19) | Reemplazar el campo de dirección de la izquierda de M(X) por los 12 bits de la derecha de AC |
| | 00010011 | STOR M(X,28:39) | Reemplazar el campo de dirección de la derecha de M(X) por los doce bits de la derecha de AC |

Computadores comerciales en la primera generación

Durante la década de 1950 surgió por primera vez la **industria de los computadores comerciales**, con dos empresas liderando el mercado:

- **Sperry Corporation** (a través de la división UNIVAC)
- **IBM (International Business Machines)**

◆ UNIVAC I (Universal Automatic Computer)

- **Desarrollado por:** Eckert y Mauchly (creadores del ENIAC)
- **Empresa:** Eckert-Mauchly Computer Corporation → luego absorbida por Sperry-Rand.
- **Año de aplicación inicial:** 1950 (en la Oficina del Censo de EE. UU.)

Características destacadas:

- **Primer computador comercial exitoso.**
- **Diseñado para aplicaciones científicas y comerciales.**
- **Capaz de resolver:**
 - Operaciones algebraicas con matrices
 - Problemas estadísticos
 - Reparto de primas de seguros
 - Problemas logísticos

◆ UNIVAC II

- **Lanzado a finales de los años 50**
- **Mayor capacidad de memoria** y más aplicaciones que su antecesor.
- Introduce una práctica que se volvería estándar:
 - **Compatibilidad hacia atrás:** los programas del UNIVAC I podían ejecutarse en el UNIVAC II.
 - **Esto protegía la inversión del cliente** en software y promovía la fidelidad de marca.

Unidad 1 - Computadoras

■ Serie UNIVAC 1100

- Producto principal de la división UNIVAC por muchos años.
- **UNIVAC 1103**: orientado a aplicaciones científicas complejas.
- Ilustra una **división en el mercado**:
 - Algunas máquinas orientadas a **cálculo científico intensivo**
 - Otras orientadas a **gestión empresarial** (procesamiento de texto y datos administrativos)

🧠 Esta división desapareció más adelante, pero fue marcada durante los primeros años de la computación comercial.

■ IBM y su consolidación como líder

- **IBM 701 (1953)**:
 - Primer computador de IBM con **programas almacenados electrónicamente**
 - Enfocado en **aplicaciones científicas**
- **IBM 702 (1955)**:
 - Diseñado específicamente para **aplicaciones de gestión empresarial**
 - Primer paso en la serie **IBM 700/7000**, que consolidó a IBM como el **principal fabricante mundial de computadores**

🔑 Tendencias que marcaron esta etapa

1. **Avance tecnológico continuo**
 - Computadores cada vez más potentes y con mayores capacidades.
2. **Compatibilidad entre generaciones**
 - Las compañías diseñaban sus nuevos modelos de forma que pudieran ejecutar software de generaciones anteriores.
3. **Fidelización de clientes**
 - Esta compatibilidad incentivaba a los usuarios a seguir comprando de la misma marca, protegiendo su inversión en software.
4. **Segmentación de mercado**
 - Distinción inicial entre **aplicaciones científicas** (alto cálculo) y **de gestión** (manejo de datos masivos), que luego convergerían.



Unidad 1 - Computadoras

La Segunda Generación de Computadoras (1958–1964)

Transistores, mayor potencia y eficiencia

- **Transición tecnológica clave:**

- La segunda generación de computadoras marcó un cambio revolucionario con la sustitución de los tubos de vacío por **transistores**, lo que permitió construir máquinas más **pequeñas, rápidas, económicas y eficientes energéticamente**.

- **Ventajas del transistor sobre el tubo de vacío:**

- Tamaño significativamente menor.
- Menor generación de calor.
- Mayor confiabilidad.
- Menor consumo energético.
- Más económico de producir.

- **Impacto en la industria informática:**

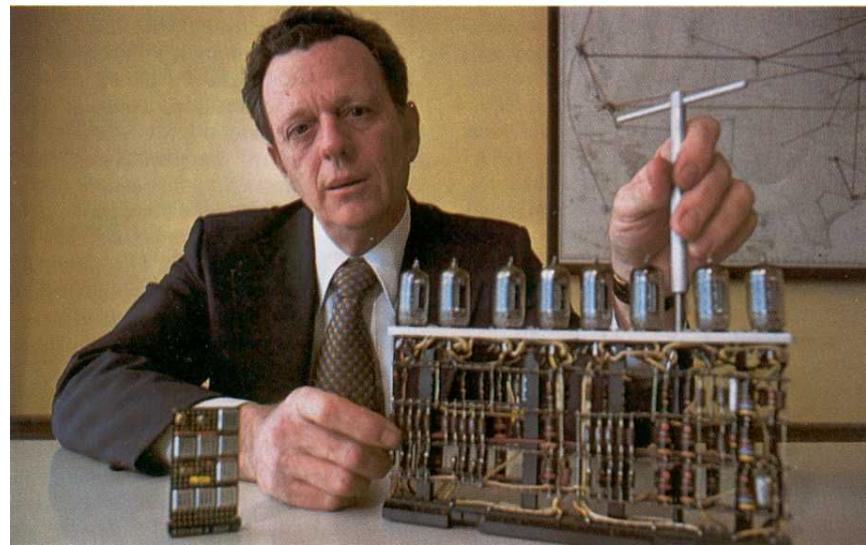
- Aunque el transistor fue inventado en **1947** por los **Laboratorios Bell**, su adopción en computadoras comerciales ocurrió al final de los años 50.
- Marcas como **NCR** y **RCA** fueron pioneras, seguidas por **IBM** con la **serie 7000**, consolidando el avance hacia esta nueva generación.

- **Características destacadas:**

- Aumento de velocidad: hasta **200,000 operaciones por segundo**.
- Introducción de **lenguajes de programación de alto nivel** como **FORTRAN** y **COBOL**.
- Incorporación de **software de sistema** (sistemas operativos primitivos).
- Estructuras internas más complejas: **ALU**, unidades de control mejoradas, **canales de datos**, etc.

- **Inicio de nuevas líneas de desarrollo:**

- Aparición de empresas clave como **Digital Equipment Corporation (DEC)** con el **PDP-1**, que impulsó el desarrollo de **minicomputadoras**, influyendo directamente en la tercera generación.



Unidad 1 - Computadoras

Comparativa tecnológica: Tubos de vacío vs. Transistores

● Tubos de vacío (Primera generación):

- **Estructura compleja:**
Requieren múltiples componentes físicos como:
 - Cables de conexión
 - Placas metálicas
 - Cápsula de vidrio sellada
 - Entorno de vacío interno
- **Alto consumo y calor:**
Consumen grandes cantidades de energía eléctrica y disipan excesivo calor.
- **Frecuencia de fallos elevada:**
Eran frágiles, de corta duración y propensos a quemarse con el uso continuo.



● Transistores (Segunda generación):

- **Dispositivos de estado sólido:**
Fabricados en **silicio**, no requieren vacío ni componentes voluminosos.
- **Fácil integración:**
Se pueden **soldar directamente** en placas de circuito impreso, facilitando el diseño de computadoras más compactas y robustas.
- **Alta eficiencia energética:**
Requieren **menos energía** para operar y disipan una **cantidad mínima de calor**.
- **Mayor fiabilidad y velocidad:**
Soportan más operaciones por segundo, aumentando significativamente el rendimiento del sistema.

■ Tabla Comparativa: Tubo de Vacío vs Transistor

| Característica | Tubo de Vacío (1.ª Generación) | Transistor (2.ª Generación) |
|-------------------------------|---|--|
| Periodo de uso | 1946 – 1957 | 1958 – 1964 |
| Tecnología | Dispositivo termoiónico (vacío, cátodo, ánodo) | Dispositivo semiconductor (silicio o germanio) |
| Consumo de energía por unidad | 6 – 10 W por tubo | 0.05 – 0.5 W por transistor |
| Voltaje típico de operación | 100 – 300 V (placa) | 3 – 12 V |
| Calor generado | Muy alto (requiere ventiladores o refrigeración activa) | Muy bajo (puede operar sin ventilación activa) |
| Tamaño físico | Grande (varios cm por tubo) | Muy pequeño (milimétrico) |
| Peso | 30-50 g por tubo | Menos de 1 g por transistor |
| Vida útil estimada | 1,000 – 5,000 horas | 10,000 – 100,000 horas |
| Tasa de fallos | Alta (fallas frecuentes por quemado del filamento) | Muy baja (sin partes móviles o filamentos) |
| Tiempo de calentamiento | 30-60 segundos | Inmediato |
| Costo por unidad | US\$2 – US\$5 por tubo | US\$0.5 – US\$1 por transistor (años 60) |
| Consumo total del sistema | ENIAC: ≈ 150 kW (con 18,000 tubos) | IBM 7094: ≈ 18-25 kW (con miles de transistores) |
| Refrigeración necesaria | Ventiladores potentes, incluso aire acondicionado | En general, ventilación pasiva o mínima |
| Mantenimiento | Muy frecuente | Espaciado o casi nulo |
| Velocidad de conmutación | Lenta (milisegundos) | Mucho más rápida (microsegundos a nanosegundos) |

Unidad 1 - Computadoras

Evolución por Generaciones de Computadoras

Tabla 2.2 – Generaciones de Computadoras

| Generación | Fechas aproximadas | Tecnología | Velocidad típica (operaciones por segundo) |
|------------|--------------------|-------------------------------|--|
| 1 | 1946-1957 | Válvulas | 40 000 |
| 2 | 1958-1964 | Transistores | 200 000 |
| 3 | 1965-1971 | Pequeña y media integración | 1 000 000 |
| 4 | 1972-1977 | Gran integración (LSI) | 10 000 000 |
| 5 | 1978-1991 | Alta integración (VLSI) | 100 000 000 |
| 6 | 1991- | Ultra alta integración (ULSI) | 1 000 000 000 |

Tabla 2.3. Ejemplos de miembros de la serie IBM 700/7000.

| Modelos | Primera entrega | Tecnología de la CPU | Tecnología de la memoria | Tiempo de ciclo (μs) | Tamaño de memoria (K) | Número de codops | Número de registros índice | Punto flotante por hardware | Solapamiento de E/S (Canales) | Solapamiento de captación instrucciones | Velocidad de captación (relativa a 701) |
|---------|-----------------|----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|---|
| 701 | 1952 | Tubos de vacío | Tubos electro-está. | 30 | 2-4 | 24 | 0 | no | no | no | 1 |
| 704 | 1955 | Tubos de vacío | Núcleos | 12 | 4-32 | 80 | 3 | sí | no | no | 2,5 |
| 709 | 1958 | Tubos de vacío | Núcleos | 12 | 32 | 140 | 3 | sí | sí | no | 4 |
| 7090 | 1960 | Transistor | Núcleos | 2,18 | 32 | 169 | 3 | sí | sí | no | 25 |
| 7094.I | 1962 | Transistor | Núcleos | 2 | 32 | 185 | 7 | sí (doble precisión) | sí | sí | 30 |
| 7094.II | 1964 | Transistor | Núcleos | 1,4 | 32 | 185 | 7 | sí (doble precisión) | sí | sí | 50 |

Unidad 1 - Computadoras

Nacimiento de DEC y los Minicomputadores

Fundación de DEC

- **Digital Equipment Corporation (DEC)** fue fundada en **1957** en Massachusetts, Estados Unidos.
- Su enfoque inicial fue el desarrollo de **equipos electrónicos digitales más compactos y accesibles** que las grandes mainframes de la época.

PDP-1: Punto de inflexión

- En **1960**, DEC lanza su primer computador: **PDP-1 (Programmed Data Processor-1)**.
- Este equipo introdujo el concepto de **minicomputadora**, una computadora más asequible, más pequeña y flexible, ideal para universidades, laboratorios y pequeñas empresas.

Transición hacia la tercera generación

- El éxito de la PDP-1 impulsó una nueva era de **computación descentralizada**.
- Las minicomputadoras sentaron las bases para los sistemas de la **tercera generación**, al demostrar que el poder de cómputo podía ser distribuido y no exclusivo de grandes centros de datos.



Caso de Estudio – IBM 7094

Evolución Tecnológica de IBM

- El **IBM 7094** representó uno de los sistemas más avanzados de la **segunda generación de computadoras** la cual contenía entre 50,000 y 100,000 transistores discretos (individuales).
- Surge como evolución de la familia **IBM 700**, iniciada en **1952** con el modelo IBM 701, y culmina con la serie **IBM 7000**, basada en transistores, en **1964**.

Mejoras Técnicas Relevantes

- **Capacidad de Memoria:**
 - *IBM 701*: 2,048 palabras de 36 bits.
 - *IBM 7094*: Hasta 32,768 palabras de 36 bits.
- **Tiempo de Ciclo de Memoria** (tiempo de espera para nueva llamada):
 - *IBM 701*: 30 microsegundos.
 - *IBM 7094*: 1.4 microsegundos.
- **Conjunto de Instrucciones:**
 - *IBM 701*: 24 instrucciones básicas.
 - *IBM 7094*: 185 instrucciones.
 - Expansión de la arquitectura para soportar operaciones matemáticas complejas, manipulación de caracteres y programación científica avanzada.

Impacto y Aplicaciones

- El **IBM 7094** fue ampliamente utilizado en **aplicaciones científicas, aeronáuticas, militares** y en centros de investigación como la **NASA**.
- Soportaba **lenguajes de alto nivel** como FORTRAN y LISP, facilitando su uso en proyectos complejos de simulación y procesamiento numérico.

Unidad 1 - Computadoras

Optimización del Tiempo de Ciclo

Uso del Registro de Respaldo de Instrucciones

- Durante la segunda generación, se introducen mejoras en la **arquitectura interna** de las computadoras para optimizar la eficiencia del procesador.
- Una de estas innovaciones fue el **registro de respaldo de instrucciones**, también conocido como **Instruction Buffer Register (IBR)**, el cual permite **almacenar temporalmente una segunda instrucción** contenida en la misma palabra de memoria.
- Este registro actúa como un **almacenamiento intermedio**, lo que evita tener que volver a acceder a la memoria principal de forma inmediata.

Predicción y Carga Adyacente de Instrucciones

- Gracias al uso de este registro, el sistema puede **anticiparse a la ejecución de instrucciones adyacentes**, es decir, mientras se ejecuta una instrucción, la siguiente ya se encuentra disponible en el procesador.
- Este enfoque reduce la **latencia provocada por el acceso repetido a la memoria**, una operación relativamente lenta en comparación con el procesamiento interno.

Impacto en el Tiempo Medio de Instrucción

- Al disminuir el número de accesos a memoria, el **tiempo promedio por instrucción (CPI, Cycles Per Instruction)** se reduce considerablemente.
- Esto resulta en un **aumento general en el rendimiento del sistema**, ya que la **unidad de control** puede mantener un flujo más continuo de ejecución.
- Aunque primitivo en comparación con las modernas técnicas de **predicción de instrucciones** o **ejecución fuera de orden**, este mecanismo fue un **punto de partida clave** hacia la optimización de ciclos de instrucción en futuras generaciones.

Arquitectura del IBM 7094

Evolución hacia una arquitectura más eficiente

- El **IBM 7094**, lanzado a inicios de los años 60, representa una de las **máquinas más avanzadas de la segunda generación**.
- Su arquitectura fue diseñada para **mejorar la eficiencia del procesamiento de datos y la gestión de entrada/salida**, elementos críticos en aplicaciones científicas y empresariales de gran volumen.

Canales de datos independientes

- Una de las principales innovaciones del IBM 7094 fue la **introducción de canales de entrada/salida (E/S) independientes**, también conocidos como **Data Channels**.
- Cada canal funciona como un **procesador dedicado exclusivamente a las operaciones de E/S**, lo cual permite ejecutar transferencias de datos entre periféricos (como cintas magnéticas, lectores de tarjetas y discos) **de forma autónoma**.

Separación de responsabilidades

- Con esta arquitectura, la **CPU (Unidad Central de Procesamiento)** se libera de la tarea de ejecutar instrucciones de E/S.
- Mientras la CPU se concentra en **operaciones aritméticas, lógicas y de control de flujo**, los canales de E/S ejecutan **instrucciones especializadas** que controlan directamente los dispositivos periféricos.
- Este diseño habilita el **procesamiento concurrente**, donde la CPU y los canales de E/S pueden operar en paralelo, **maximizando el aprovechamiento de recursos**.

Ventajas operativas

- **Reducción de cuellos de botella**: al evitar que la CPU quede inactiva durante operaciones de entrada/salida lentas.
- **Mayor rendimiento global**: se procesan tareas de usuario y tareas de E/S al mismo tiempo.
- **Escalabilidad**: se pueden añadir múltiples canales para manejar más dispositivos sin afectar el núcleo de procesamiento.

Importancia histórica

Este modelo de arquitectura sentó las bases para lo que hoy conocemos como

Unidad 1 - Computadoras

Papel del Multiplexor

El **multiplexor** actúa como un **elemento clave de interconexión** entre los principales componentes de la computadora:

- **Canales de datos:** encargados de las operaciones de entrada/salida (E/S).
- **Unidad Central de Procesamiento (CPU):** ejecuta las instrucciones del programa.
- **Memoria principal:** almacena tanto datos como instrucciones.

Este esquema convierte al multiplexor en el **nodo central del sistema**, donde se gestiona el acceso compartido a los recursos de memoria y periféricos.

Función principal: coordinación de accesos a memoria

- La memoria es un recurso compartido entre la CPU y múltiples canales de E/S.
- El multiplexor **organiza el acceso simultáneo** a este recurso, mediante una **priorización o control secuencial**.
- Así, evita conflictos y permite que tanto la CPU como los canales realicen **operaciones concurrentes sin interferencia**.

Permite operaciones en paralelo

- Gracias al multiplexor, es posible que:
 - La **CPU ejecute instrucciones** desde la memoria,
 - Mientras un **canal de datos transfiere información** entre la memoria y un periférico.
- Esto representa una forma **temprana de paralelismo**, que mejora el **rendimiento global del sistema**.
- Se reduce la **espera activa (idle time)** de los componentes, aumentando su eficiencia.

Comparación con arquitecturas modernas

- El concepto de multiplexor es antecesor de las arquitecturas de buses utilizadas en computadoras modernas, como el **bus de sistema** o el **bus de memoria compartida**.
- Su función equivale, en términos actuales, a la de un **controlador de bus con lógica de arbitraje**, que regula los accesos simultáneos a la memoria y a los dispositivos.

Importancia histórica

- La introducción del multiplexor en la segunda generación **permitió aprovechar el nuevo hardware basado en transistores** al máximo.
- Fue clave para **desacoplar las funciones de procesamiento y transferencia de datos**, sentando las bases para la computación multiproceso y multitarea.

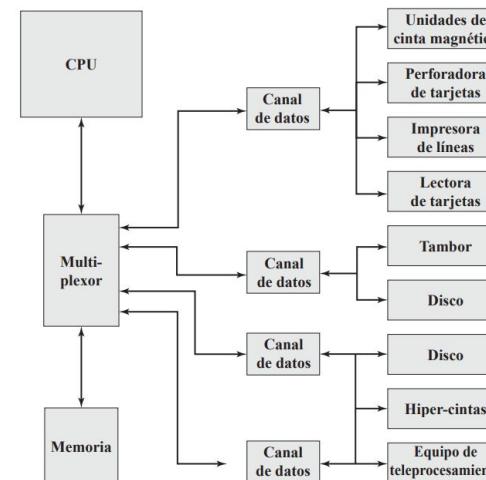


Figura 2.5. Configuración de un IBM 7094.

Unidad 1 - Computadoras

Introducción a la Tercera Generación de Computadoras (1965–1971)

💡 Contexto Histórico y Avances Tecnológicos

La tercera generación de computadoras surgió como respuesta a las limitaciones de la segunda generación, donde el uso de transistores discretos dificultaba la escalabilidad, fiabilidad y eficiencia energética de los sistemas. Con el desarrollo del **circuito integrado (CI)**, inventado en 1958 por Jack Kilby (Texas Instruments) y Robert Noyce (Fairchild Semiconductor), se inició una nueva era: la **microelectrónica**.

💡 ¿Qué es un Circuito Integrado?

Un CI es un chip de silicio que encapsula **decenas o cientos de componentes electrónicos** (transistores, resistencias, condensadores) en un solo dispositivo. Esto redujo drásticamente el tamaño físico, los errores de conexión y el consumo energético de las computadoras.

⚙️ Principales Innovaciones de la Tercera Generación

- **Miniaturización del hardware:** El tamaño de las computadoras se redujo notablemente.
- **Mayor eficiencia energética:** Los CIs consumen menos energía que los transistores discretos.
Aumento de velocidad: Menores tiempos de conmutación y distancias físicas más cortas entre componentes.
- **Reducción de costos:** La producción en masa de chips hizo más accesible la computación.
Mayor fiabilidad: Menos fallos gracias a la integración y reducción de conexiones soldadas.

🌐 Nacimiento de la Microelectrónica

Este periodo marca la consolidación de la **industria de semiconductores** como base de la informática moderna. La tercera generación dio lugar a los primeros computadores realmente **modulares, compatibles entre modelos** (como el IBM System/360) y al uso masivo de **lenguajes de programación estructurados**.

👑 Importancia Histórica

La tercera generación no solo mejoró el rendimiento, sino que sentó las bases para:

- El desarrollo de **sistemas operativos multiprogramados**.
- La **computación comercial estandarizada**.
- La transición hacia la **informática personal y empresarial**.

Unidad 1 - Computadoras

Invención del Circuito Integrado – Revolución en la Electrónica Digital

Nacimiento del Circuito Integrado (CI)

- **1958:** Jack Kilby (Texas Instruments) construye el primer circuito integrado funcional utilizando germanio.
- **1959:** Robert Noyce (Fairchild Semiconductor) mejora el diseño con silicio y el uso de la técnica de planarización, haciendo viable la producción en masa.

Este hito marca el **inicio de la era de la microelectrónica**, al permitir que múltiples componentes electrónicos se integren en un solo chip.

¿Qué es un Circuito Integrado (CI)?

Un circuito integrado es un dispositivo miniaturizado que **agrupa varios transistores, resistencias y otros componentes electrónicos** sobre una delgada lámina de silicio, encapsulada y conectada eléctricamente a través de terminales externos.

Ventajas Técnicas del CI frente a componentes discretos:

1. **Miniaturización:**
 - Decenas, luego cientos y miles de transistores en el espacio que antes ocupaba uno solo.
 - Reducción drástica del tamaño de los equipos.
2. **Mayor velocidad de operación:**
 - Al estar los componentes en un mismo chip, se reduce el retardo de propagación y se mejora la velocidad de procesamiento.
3. **Menor consumo de energía:**
 - Componentes más pequeños y rutas de señal más cortas reducen las pérdidas energéticas.
4. **Mayor confiabilidad:**
 - Menos conexiones físicas = menor probabilidad de fallas.
5. **Reducción significativa de costos:**
 - Posibilidad de fabricación en masa mediante procesos automatizados sobre obleas de silicio.

Impacto de la Invención

- Los CI reemplazaron gradualmente a los componentes discretos, primero en funciones básicas como puertas lógicas y contadores, y luego en procesadores completos.
- Su desarrollo permitió la creación de computadoras más compactas, rápidas y accesibles, dando paso a una **revolución en la industria computacional** y sentando las bases para el desarrollo de los microprocesadores.

Dato Clave

“La invención del circuito integrado no solo resolvió los límites físicos de la segunda generación, sino que habilitó la posibilidad de escalar la complejidad computacional sin aumentar el volumen físico del sistema.”

Unidad 1 - Computadoras

Clave en Microelectrónica – Fundamentos del Funcionamiento Digital

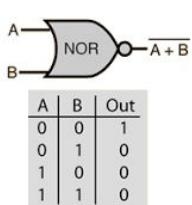
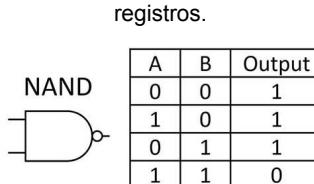
🧠 ¿Qué es la microelectrónica?

La microelectrónica es la rama de la electrónica que se ocupa del diseño, fabricación y comportamiento de componentes electrónicos extremadamente pequeños, como **transistores, resistencias, condensadores y diodos**, integrados en chips de silicio. Su aparición impulsó el desarrollo de **circuitos integrados** (ICs), posibilitando la miniaturización de las computadoras.

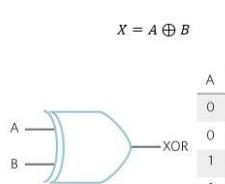
Componentes básicos en la electrónica digital:

1. Puertas Lógicas

- **Definición:** Son bloques fundamentales que realizan operaciones booleanas. Cada puerta toma una o más señales de entrada y produce una salida basada en una función lógica.
 - **Tipos principales:**
 - **AND:** Salida 1 solo si ambas entradas son 1.
 - **OR:** Salida 1 si al menos una entrada es 1.
 - **NOT:** Invierte el valor de la entrada.
 - **Combinaciones complejas:** NAND, NOR, XOR, XNOR. Estas combinaciones permiten construir circuitos más avanzados como sumadores, multiplexores o registros.



$$X = A \oplus B$$



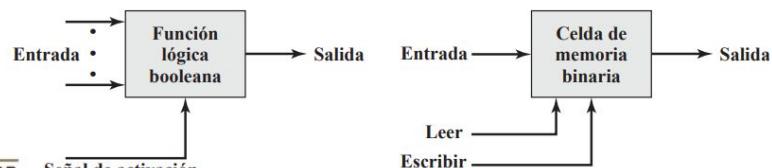
| A | B | XOR |
|---|---|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

2. Celdas de Memoria

- **Función:** Almacenan información binaria (bits).
 - **Tecnologías utilizadas:**
 - **SRAM (Static RAM):** Rápida, pero costosa y volátil.
 - **DRAM (Dynamic RAM):** Más densa y económica, pero necesita refresco constante.
 - **Flip-Flops:** Elementos básicos de almacenamiento en registros o contadores.
 - **Importancia:** La memoria es clave para almacenar tanto datos como instrucciones que el procesador ejecutará.

Importancia en la Tercera Generación

- Todos estos elementos comenzaron a integrarse en chips gracias a los circuitos integrados, permitiendo la **construcción modular de sistemas complejos**, desde computadoras hasta calculadoras electrónicas.
 - La combinación de estos cuatro pilares en un espacio reducido fue el fundamento para los futuros microprocesadores.



(a) Puerta

(b) Celda de memoria

Figura 2.6. Elementos de un computador básico.

Unidad 1 - Computadoras

Proceso de Fabricación de Circuitos Integrados (CIs) (Saltar)

Con la invención de los circuitos integrados, se abrió la posibilidad de fabricar **miles de transistores y componentes pasivos** (resistencias, capacitores) en un solo chip de silicio. Esto transformó radicalmente la forma de construir sistemas electrónicos, pasando de conexiones manuales a procesos automatizados a nivel microscópico.

1. Materia Prima: Obleas de Silicio

- **Oblea:** Disco delgado y circular de silicio ultrapuro (99.9999 %).
- Diámetro típico en esa época: **25 a 50 mm**.
- Cada oblea puede contener **decenas o cientos de chips** (también llamados "dieles").

2. Etapas del Proceso de Fabricación

| Etapa | Descripción técnica |
|---------------------------------|--|
| a) Oxidación térmica | Se genera una capa de dióxido de silicio (SiO_2) en la superficie del silicio, actuando como aislante y base para el grabado. |
| b) Fotolitografía | Técnica que utiliza luz UV para proyectar un patrón (máscara) sobre una película fotosensible (resist). |
| c) Grabado (etching) | Se eliminan químicamente las áreas no protegidas, definiendo las regiones activas del chip. |
| d) Dopado (implantación iónica) | Se introducen impurezas (boro, fósforo) para modificar la conductividad del silicio, creando zonas P o N. |
| e) Deposición | Se agregan finas capas metálicas o dieléctricas (como aluminio o nitrógeno de silicio) para interconexión o aislamiento. |
| f) Interconexiones | Se forman las pistas metálicas que conectan los componentes dentro del chip. |
| g) Encapsulado | El chip terminado se corta de la oblea, se conecta a pines o pads, y se encierra en un encapsulado plástico o cerámico. |

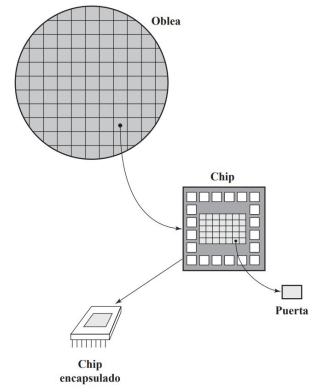


Figura 2.7. Relación entre oblea, chip y puerta.

3. Encapsulado de los CIs

- **Propósito:**
 - Proteger el chip del ambiente (humedad, polvo, manipulación).
 - Permitir conexión eléctrica al exterior (mediante pines).
- **Tipos comunes en la tercera generación:**
 - DIP (Dual Inline Package): 14, 16, 24 pines.
 - TO (Transistor Outline): en circuitos más simples.
- Se montan sobre **tarjetas de circuito impreso (PCB)** y se conectan mediante soldadura automática o sockets.

4. Ensamblado en Sistemas

- Múltiples chips se integran en **tarjetas madre o módulos funcionales**.
- Por ejemplo:
 - Una tarjeta puede tener CIs dedicados a memoria, otros a lógica, otros al control del bus.
- Se crean así arquitecturas más **modulares y escalables**, clave para diseños como el IBM System/360.

Ventajas de este proceso respecto a la Segunda Generación

- Producción **masiva y uniforme**.
- Reducción de errores humanos (ya no se suelda componente por componente).
- **Miniaturización:** más componentes en menos espacio.
- Mayor **fiabilidad**: menos fallos por conexiones físicas.
- Menores **costos a gran escala**.

Dato histórico interesante

El primer circuito integrado comercial fue fabricado por **Texas Instruments** en 1961, basado en la invención de **Jack Kilby** (1958). Aunque era muy simple (unos pocos transistores), sentó las bases para la microelectrónica moderna.

Unidad 1 - Computadoras

Escalado de la Integración – De SSI a VLSI

Tras la invención del **transistor** en la década de 1950, la necesidad de reducir el tamaño de los circuitos y aumentar su rendimiento llevó al desarrollo de los **Circuitos Integrados (CI)** a finales de los años 50 y principios de los 60. A partir de allí, el grado de integración fue incrementándose, permitiendo colocar **más componentes electrónicos (transistores, resistencias, diodos)** en un solo chip de silicio.

Este proceso de miniaturización progresiva se conoce como **escalado de la integración**.

Etapas del Escalado de Circuitos Integrados

| Nivel de Integración | Años aproximados | Transistores por chip | Características principales |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|--|
| SSI (Small-Scale Integration) | 1960s | < 100 | Puertas lógicas básicas (AND, OR, NOT). |
| MSI (Medium-Scale Integration) | Finales 1960s | 100 – 1,000 | Módulos como contadores, sumadores y registros. |
| LSI (Large-Scale Integration) | 1970s | 1,000 – 10,000 | Memorias pequeñas, microprocesadores rudimentarios. |
| VLSI (Very Large-Scale Integration) | 1980s en adelante | 10,000 – millones | Microprocesadores completos, chips de memoria RAM, SOCs. |

Ley de Moore (1965)

Enunciada por **Gordon Moore**, cofundador de Intel, esta ley observó que:

"El número de transistores en un chip se duplica aproximadamente cada 12 meses" (posteriormente ajustado a cada 18–24 meses)

Implicaciones:

- Mayor capacidad de procesamiento.
- Reducción de tamaño y costo por transistor.
- Aumento del consumo de energía por chip, seguido por estrategias de eficiencia energética.

Ejemplo Visual:

- 1971 – Intel 4004: ~2,300 transistores.
- 1982 – Intel 80286: ~134,000 transistores.
- 1993 – Pentium: ~3.1 millones.
- Hoy – Chips Apple M2, AMD Ryzen: > 20 mil millones de transistores.

Beneficios del Escalado

- **Mayor velocidad de procesamiento:** Reducción de la distancia entre componentes.
- **Menor consumo por operación** (aunque mayor densidad térmica).
- **Más funciones en menos espacio:** Facilitó el nacimiento de computadoras personales, teléfonos inteligentes y sistemas embebidos.

Importancia en la Historia de la Computación

El escalado de la integración permitió la transición de:

- **Mainframes grandes y costosos**, a
- **Computadoras personales accesibles**, y más tarde a
- **Dispositivos móviles, wearables, y sistemas en chip (SoC)**.

Cada generación tecnológica fue posible gracias a la reducción sistemática del tamaño de los transistores y el aumento de su cantidad en un solo chip.

Unidad 1 - Computadoras

IBM System/360 – Revolución en la Arquitectura de Computadoras (Speed)

Año de Lanzamiento: 1964.

El IBM System/360 fue la **primera familia de computadoras diseñada de forma planificada como una arquitectura unificada y escalable**, lo que representó una innovación radical en la historia de la computación. Hasta ese momento, cada modelo de computadora era único en su diseño, incompatible con los anteriores y posteriores.

Características Clave

Incompatibilidad con la Serie 7000

- La serie anterior (IBM 7000) utilizaba **tubos de vacío o transistores individuales**, con arquitecturas distintas entre modelos.
- **System/360 rompe con esa línea**, creando una nueva arquitectura completamente incompatible, pero con visión a futuro.

Arquitectura Nueva y Estandarizada

- Se introdujo un **modelo de arquitectura común**, lo que permitió que todos los modelos de la serie 360 —desde los más básicos hasta los más potentes— ejecutaran el **mismo conjunto de instrucciones (ISA)**.
- Fue una de las primeras veces en la historia donde se **separaba el hardware físico de la arquitectura lógica**.

Uso de Circuitos Integrados

- Aunque los **CI** utilizados eran bastante primitivos, IBM apostó por ellos para mejorar la **fiabilidad, tamaño y coste de producción**.
- El System/360 fue una de las primeras grandes implementaciones industriales del uso de circuitos integrados en una línea comercial de computadoras.

Éxito Comercial Sin Precedentes

- Para finales de los años 60, IBM había capturado **aproximadamente el 70% del mercado mundial** de computadoras con su familia System/360.
- Este dominio consolidó a IBM como el **líder indiscutible de la industria informática** por varias décadas.

Amplia Aceptación Empresarial y Científica

- Adoptado por **empresas, gobiernos y centros de investigación** gracias a su escalabilidad, fiabilidad y compatibilidad a futuro.
- Permite ejecutar programas desde los modelos más económicos hasta los más potentes sin necesidad de reescribir código.

Innovaciones Técnicas Destacadas

- **Multiprogramación**: Capacidad de ejecutar múltiples programas en memoria simultáneamente.
- **Soporte para E/S por canal**: Delegación de operaciones de entrada/salida a canales independientes.
- **Formato de palabra estándar de 8 bits**: Base de lo que luego sería el byte moderno.
- **Soporte para aritmética de punto flotante**: Lo que lo hizo ideal para aplicaciones científicas.

Legado del System/360

- Estableció el estándar para futuras arquitecturas de computadoras.
- Fue la base conceptual para futuras generaciones de mainframes, incluyendo el **IBM System/370** y sus sucesores.
- Inspiró el concepto de **compatibilidad hacia adelante y hacia atrás**, que perdura en muchas arquitecturas modernas como x86.



Unidad 1 - Computadoras

Filosofía del Sistema/360 – Compatibilidad, Escalabilidad y Estandarización

Enfoque Conceptual Pionero en la Industria (Speed)

El **IBM System/360**, lanzado en 1964, no solo representó un avance técnico, sino una **revolución filosófica** en el diseño de sistemas de cómputo. IBM rompió con el paradigma tradicional de crear computadoras incompatibles entre sí y propuso una **familia completa de equipos con una misma arquitectura lógica**, adaptados a diferentes necesidades y presupuestos.

Compatibilidad Entre Modelos

La familia System/360 incluía una variedad de modelos numerados, como:

Tabla 2.4. Características clave de la familia Sistema/360.

| Características | Modelo 30 | Modelo 40 | Modelo 50 | Modelo 65 | Modelo 75 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tamaño máximo de memoria (bytes) | 64K | 256K | 256K | 512K | 512K |
| Velocidad de transferencia de datos procedentes de la memoria (MB/segundo) | 0,5 | 0,8 | 2,0 | 8,0 | 16,0 |
| Tiempo de ciclo del procesador (μ /segundo) | 1,0 | 0,625 | 0,5 | 0,25 | 0,2 |
| Velocidad relativa | 1 | 3,5 | 10 | 21 | 50 |
| Número máximo de canales de datos en un canal (KB/segundo) | 250 | 400 | 800 | 1.250 | 1.250 |

- ♦ A pesar de diferencias en velocidad, memoria y capacidad de procesamiento, **todos compartían el mismo conjunto de instrucciones (ISA)**.
- ♦ Esto garantizaba que **los programas escritos para un modelo pudieran ejecutarse en cualquier otro modelo** sin necesidad de reprogramación.

Programas Portables Dentro de la Familia

Esta compatibilidad permitió que el **software desarrollado para un modelo pudiera migrarse sin cambios** a otro equipo del mismo ecosistema, algo inédito en su tiempo.

- ♦ **Beneficio técnico:** Reducción del tiempo y costos de desarrollo.
- ♦ **Beneficio estratégico:** Estabilidad del software frente a avances de hardware.

Ventajas Directas para los Clientes

Escalabilidad

- Las empresas podían **empezar con un modelo básico** y, conforme crecieran sus necesidades, **migrar a modelos más potentes sin perder su inversión en software**.
- Esta **escalabilidad programática** convirtió al System/360 en una solución adaptable a múltiples entornos: comercial, científico, gubernamental.

Protección de la Inversión en Software

- En una época donde **desarrollar software era extremadamente costoso**, la compatibilidad entre modelos ofrecía a los clientes la tranquilidad de que su software **seguiría funcionando en futuras actualizaciones** de hardware.

Impacto Filosófico y Comercial

- Este enfoque plantó la semilla del **concepto de arquitectura compatible**, base del desarrollo de plataformas como **x86, ARM**, y otras arquitecturas modernas que hoy dominan el mundo de la computación.
- IBM posicionó al System/360 como **una plataforma de largo plazo**, fomentando relaciones comerciales duraderas y fidelización tecnológica con sus clientes.

Unidad 1 - Computadoras

PDP-8 (1965): una revolución en la computación accesible (Speed)

En 1965, la empresa DEC lanzó al mercado el PDP-8, considerado ampliamente como la **primera minicomputadora comercialmente exitosa**. A diferencia de las enormes mainframes de IBM, el PDP-8 se caracterizó por su **tamaño compacto, bajo costo y facilidad de uso**, lo que democratizó el acceso a la computación para universidades, laboratorios y pequeñas empresas.

◆ Características destacadas del PDP-8:

- **Costo accesible:** se vendía por **aproximadamente \$16,000 USD**, una fracción del precio de un mainframe convencional (250 mil - 1 mill USD).
- **Tamaño reducido:** podía instalarse en un escritorio o gabinete pequeño.
- **Portabilidad:** facilitaba su traslado e instalación en diferentes entornos.
- **Tecnología basada en transistores** (aunque ya se comenzaban a usar algunos CI).

◆ Impacto en el mercado y adopción masiva:

- Se vendieron más de **50,000 unidades**, una cifra notable para la época.
- Su éxito popularizó el término "**minicomputadora**".
- Abrió paso al mercado **OEM (Original Equipment Manufacturer)**, ya que muchas empresas comenzaron a integrar el PDP-8 en sus propios sistemas, automatización industrial o instrumentación.

◆ Importancia histórica:

- Permitió a instituciones académicas y centros de investigación realizar tareas de computación sin depender de grandes presupuestos.
- Fomentó una comunidad de desarrolladores e ingenieros que programaban en lenguaje ensamblador o FORTRAN.
- Estableció a DEC como una potencia en el sector de la computación, rivalizando temporalmente con IBM.

Arquitectura del PDP-8

- **El Omnibus: un cambio de paradigma en la arquitectura de sistemas**

El PDP-8 introdujo una innovación arquitectónica clave: el **Omnibus**, un **bus compartido de 12 líneas de direcciones y 12 líneas de datos** que revolucionó la forma en que los componentes internos del computador se comunicaban.

💡 ¿Qué es el Omnibus?

- Se trata de una **estructura de bus única y estandarizada** que conecta:
 - CPU
 - Memoria
 - Periféricos
 - Módulos de entrada/salida
- Reemplazó la necesidad de múltiples buses separados, simplificando el diseño y reduciendo costos.

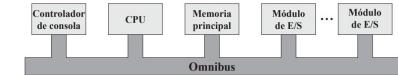


Figura 2.9. Estructura del bus PDP-8.

✓ Ventajas del Omnibus

1.  **Conectividad modular**
 - Permite agregar o quitar módulos fácilmente, con eso los usuarios podían personalizar el sistema según sus necesidades.
2.  **Arquitectura simple y flexible**
 - Facilitó el diseño de sistemas más compactos y menos costosos.
 - Menor número de cables y placas impresas vs anteriores.
3.  **Estandarización de la interconexión**
 - Todos los módulos compatibles con el Omnibus podían conectarse sin modificaciones, con eso estableció un estándar dentro de la familia PDP y para futuras computadoras.
4.  **Fomento de la innovación en periféricos**
 - Empresas externas podían diseñar periféricos para el PDP-8 usando el estándar del Omnibus.

📈 Impacto histórico

- El **Omnibus** fue uno de los primeros ejemplos exitosos de **arquitectura de bus unificado**, precursor de los buses modernos como PCI o ISA.
- Contribuyó al éxito comercial del PDP-8, al ofrecer una plataforma económica, flexible y altamente personalizable.

Unidad 1 - Computadoras

Generaciones Posteriores (Speed)

- Durante la tercera generación (finales de los 60 e inicios de los 70), el uso de **circuitos integrados (CI)** revolucionó la arquitectura de los computadores.
- A medida que la tecnología de fabricación avanzó, se logró **incrementar la densidad de componentes** dentro de un solo chip.

Escalado de integración

1. **LSI – Large-Scale Integration (Integración a Gran Escala)**
 - Aparece a principios de los años 70.
 - Permite colocar **más de 1,000 transistores** en un solo chip.
 - Facilita la miniaturización de circuitos complejos, incluyendo **memorias, procesadores y sistemas de control**.
2. **VLSI – Very-Large-Scale Integration (Integración a Muy Gran Escala)**
 - Surge a finales de los 70 e inicia el cambio radical en el diseño de computadoras.
 - Capacidad para integrar **más de 10,000 componentes** por chip.
 - Hoy en día, los chips contienen **más de 100 millones de transistores**, incluso billones (en microprocesadores modernos como los de Intel o Apple).

Consecuencia tecnológica

- A medida que se intensifica el nivel de integración, los cambios no solo son cuantitativos, sino **cualitativos**:
 - **Menor tamaño** físico de los dispositivos.
 - **Mayor velocidad** de procesamiento.
 - **Menor consumo energético**.
 - **Mayor fiabilidad**.

! Pérdida de claridad en las generaciones

- Hasta la tercera generación, los computadores podían clasificarse claramente por la **tecnología usada**:
 - 1.^a: Válvulas de vacío.
 - 2.^a: Transistores.
 - 3.^a: Circuitos integrados.
- Con el surgimiento del **LSI** y **VLSI**, los cambios se vuelven continuos y graduales.
- Por ello, el concepto de “**generación**” pierde precisión:
 - Las mejoras ya no marcan rupturas tecnológicas tan evidentes como antes, sino **evoluciones progresivas**.

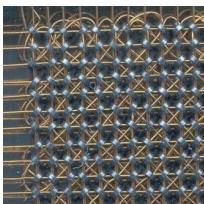
“Con la miniaturización de los circuitos y la integración masiva, el salto de generación se vuelve difuso. Se inicia la era de la evolución constante.”

Unidad 1 - Computadoras

Memoria Semiconductor

1. Memoria de núcleos de ferrita (Core Memory)

- **Periodo de uso:** Años 1950–1970 (dominante en la 2.^a y parte de la 3.^a generación).
- **Tecnología:** Basada en pequeños anillos de ferrita que almacenaban bits mediante la dirección del campo magnético.
- **Características técnicas:**
 - **No volátil:** Conservaba los datos sin energía.
 - **Destructiva en lectura:** Cada lectura requería reescribir el bit leído.
 - **Velocidad limitada:** Tiempos de acceso de 1 a 10 μ s (micros).
 - **Voluminosa:** Requiere estructuras físicas tridimensionales, difícil de escalar.
 - **Costosa:** Proceso de fabricación artesanal y de bajo rendimiento.



3. Punto de inflexión económico

- **1974:** El costo por bit de la memoria semiconductor **cae por debajo** del de la memoria de núcleos de ferrita.
 - Este evento **marca el fin comercial** de la core memory.
 - Se generaliza el uso de **memoria DRAM (Dynamic RAM)** en sistemas computacionales.
 - Inicia la transición hacia arquitecturas con **memoria exclusivamente electrónica**.

“La memoria semiconductor no solo reemplazó una tecnología; transformó la forma en que las computadoras almacenan, acceden y procesan la información.”

4. Escalado de capacidad de memoria

La capacidad de las memorias semiconductoras ha evolucionado de forma exponencial, siguiendo un patrón cercano al predicho por la **Ley de Moore**, con un crecimiento típico de **×4 por generación**:

| Generación | Capacidad típica |
|------------|------------------|
| 1970s | 1K → 4K → 16K |
| 1980s | 64K → 256K → 1M |
| 1990s | 4M → 16M → 64M |
| 2000s | 256M → 1G |



- **INCREMENTO EN DENSIDAD:**
 - Mayor cantidad de bits por chip sin aumentar el tamaño físico.
 - Posibilita equipos más compactos y con mayor capacidad de procesamiento.
- **REDUCCIÓN DEL COSTO POR BIT:**
 - Menor uso de materiales por unidad almacenada.
 - Producción en masa más eficiente.
 - Resultado: memorias más asequibles para consumidores y fabricantes.
- **AUMENTO DE VELOCIDAD:**
 - Mejores tecnologías de fabricación (CMOS, VLSI).
 - Menores tiempos de acceso (de microsegundos a nanosegundos).
 - Permite ejecución más rápida de programas y carga de datos.

Unidad 1 - Computadoras

El Nacimiento del Microprocesador: Intel 4004 (1971)

1. Intel 4004: el pionero

- Lanzamiento:** noviembre de **1971**, desarrollado por **Intel** para una calculadora de Busicom (empresa japonesa).
- Arquitectura:** 4 bits
 - Solo podía manejar operaciones aritméticas básicas (sumas, restas) sobre números de 4 bits.
- Tecnología:** PMOS (transistores MOS con canal tipo P).
- Transistores:** 2,300 (muy avanzado para su época).
- Frecuencia de reloj:** 740 kHz (menos de 1 MHz).
- Capacidad de direccionamiento:** hasta 640 bytes de memoria.
- Tamaño del chip:** ~12 mm².

2. ¿Por qué fue revolucionario?

- CPU en un solo chip:** Antes del 4004, las CPUs estaban compuestas por múltiples chips o módulos (SSI/MSI).
- Reducción de tamaño y coste:** El 4004 permitió construir computadoras mucho más pequeñas y baratas.
- Inicio de la era de la computación personal:** Aunque diseñado para una calculadora, sentó las bases para futuras aplicaciones generales (PCs, embebidos, etc.).

3. Comparativa previa y posterior al 4004

| Característica | Antes del 4004 (CPU discreta) | Intel 4004 |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Número de chips | Varios (decenas) | 1 |
| Arquitectura | Variable, mayor complejidad | 4 bits |
| Aplicaciones típicas | Mainframes, minicomputadoras | Calculadoras, embebidos |
| Costo aproximado | Cientos de dólares | ~\$60 USD por chip |
| Consumo energético | Alto | Bajo (PMOS) |
| Tamaño físico | Muy grande | Muy compacto (~12 mm ²) |

4. Legado del 4004

- Punto de partida:** El 4004 fue el primero de una línea de procesadores Intel que incluiría después el **Intel 8008, 8080, 8086**, y más tarde los famosos **x86**.
- Estándar de la industria:** Definió la ruta hacia la computación embebida, computadoras personales y más allá.
- Inicio del escalado:** Abrió paso a los microprocesadores de 8, 16, 32 y 64 bits.

"Con el 4004, el poder de procesamiento comenzó a caber en la palma de la mano. El cerebro de la computadora había nacido como un solo chip."

Unidad 1 - Computadoras

Evolución de Microprocesadores (Décadas 70-80)

1. Intel 8008 (1972): El primer microprocesador de 8 bits

- Desarrollado inicialmente para un terminal de computadora de la compañía **Computer Terminal Corporation (CTC)**.
- Características técnicas:**
 - Arquitectura: 8 bits (procesa datos de 8 bits a la vez).
 - Dirección de memoria: Hasta **16 KB** (14 bits de direccionamiento).
 - Velocidad de reloj: Aproximadamente **0.5 MHz**.
 - Transistores: ~3,500.
- Limitaciones:**
 - Requería **múltiples chips externos** para funcionar (no era un sistema en chip completo).
 - Bus de direcciones y datos compartido**, lo que dificultaba el rendimiento.

→ Aunque limitado, representó una evolución significativa respecto al Intel 4004, al permitir procesamiento de datos más complejo.

2. Intel 8080 (1974): Primer microprocesador de propósito general

- Desarrollo:** Derivado del 8008, pero rediseñado desde cero.
- Importancia histórica:** Considerado el **primer microprocesador de uso general** viable para sistemas de cómputo personales.
- Características técnicas:**
 - Arquitectura: 8 bits (con bus de datos de 8 bits y bus de direcciones de 16 bits).
 - Capacidad de direccionamiento: Hasta **64 KB** de memoria.
 - Velocidad de reloj: Hasta **2 MHz**.
 - Transistores: ~6,000.
 - Conjunto de instrucciones: Más completo y eficiente.
- Innovaciones clave:**
 - Separación de los buses de datos y direcciones (mayor velocidad).
 - Mejor capacidad para trabajar con memorias y periféricos externos.
 - Compatible con sistemas operativos básicos como **CP/M** (Control Program for Microcomputers).

→ Fue el motor de las primeras **microcomputadoras**, como la **Altair 8800**, considerada una de las pioneras de la computación personal.

3. Comparación entre Intel 8008 y 8080

| Característica | Intel 8008 (1972) | Intel 8080 (1974) |
|----------------------|--------------------|-------------------------|
| Arquitectura | 8 bits | 8 bits |
| Dirección de memoria | 14 bits (16 KB) | 16 bits (64 KB) |
| Reloj | 0.5 MHz | 2 MHz |
| Transistores | ~3,500 | ~6,000 |
| Aplicaciones | Terminales simples | Microcomputadoras, CP/M |
| Capacidad práctica | Muy limitada | Versátil y general |

4. Impacto tecnológico

- Del terminal a la microcomputadora:** El salto del 8008 al 8080 reflejó la transición desde sistemas embebidos a computadoras personales de propósito general.
- Fundamento para el futuro:** El 8080 fue base para el desarrollo del **Intel 8085** (mejorado) y **Zilog Z80**, y luego del revolucionario **8086** (preursor del estándar x86).
- Inicio de la era del software:** La compatibilidad del 8080 con sistemas como CP/M marcó el nacimiento de un verdadero ecosistema de software para microprocesadores.

"Del 8008 al 8080, los microprocesadores dejaron de ser un experimento para convertirse en el corazón de la revolución personal en la computación."

Unidad 1 - Computadoras

Expansión a 16 y 32 bits

◆ 1. Transición a 16 bits – Intel 8086 (1978)

- **Motivación:** Superar las limitaciones de los procesadores de 8 bits, como el Intel 8080/8085.
- **Características clave:**
 - **Arquitectura:** 16 bits (bus de datos), con un **bus de direcciones de 20 bits**, capaz de direccionar hasta **1 MB de memoria**.
 - **Conjunto de instrucciones:** Ampliado y más potente.
 - **Segmentación de memoria:** Introdujo un modelo segmentado (CS, DS, ES, SS) para manejar la memoria de 1 MB.
 - **Compatibilidad:** Diseñado para facilitar la migración desde software de 8 bits.
- **Impacto:**
 - Base del estándar **x86**, que dominaría la industria durante décadas.
 - Sentó las bases para la arquitectura del **IBM PC**, lanzado en 1981 con una variante: el **Intel 8088**.

◆ 2. El 8088 en la historia (1981)

- **Intel 8088:** Variante del 8086 con **bus de datos externo de 8 bits** (más barato y compatible con periféricos existentes).
- **Aplicación clave:** Fue elegido por IBM para su **primer PC comercial (IBM PC 5150)**.
- **Resultado:** Impulsó la masificación del estándar x86 y la consolidación de Intel en el mercado global de microprocesadores.

◆ 3. Primeros procesadores de 32 bits – Bell y HP (1981)

- **Bell Labs y Hewlett-Packard:** Desarrollaron procesadores de arquitectura interna de 32 bits, usados principalmente en **estaciones de trabajo y sistemas científicos**.
- **Ejemplos:**
 - Bell Labs – **C Machine** (uso experimental e interno).
 - HP – Serie **HP 3000**, con arquitectura FOCUS de 32 bits.
- **Importancia:** Aunque no fueron de consumo masivo, **marcaron el inicio de una nueva generación en arquitectura de alto rendimiento**, orientada a empresas, investigación y procesamiento gráfico/científico.
- ◆ 4. Consolidación del estándar de 32 bits – Intel 80386 (1985)
- **Intel 80386 (i386):** Verdadero salto al procesamiento de 32 bits en plataformas comerciales.
- **Características destacadas:**
 - **Bus de datos de 32 bits, bus de direcciones de 32 bits** (capacidad de hasta **4 GB de RAM**).
 - **Modo protegido:** Gestión avanzada de memoria, multitarea y seguridad entre procesos.
 - **Virtualización de memoria:** Introducción del modo virtual 8086, permitiendo ejecutar programas antiguos.
 - **Compatibilidad:** Total con software del 8086/8088 y 80286.
- **Impacto en la industria:**
 - Adoptado masivamente en PC compatibles.
 - **Estableció definitivamente el dominio de la arquitectura x86** como el estándar para computadoras personales y estaciones de trabajo.
 - Fue clave para sistemas operativos avanzados como **Windows 3.x, UNIX y OS/2**.

"La evolución a 16 y 32 bits no solo multiplicó el poder de cómputo, sino que consolidó arquitecturas que definirían la informática por décadas."

Unidad 1 - Computadoras

✳️ Tabla 1: Microprocesadores Intel – Años 70

| Procesador | Año | Bits | Velocidad de reloj | Transistores | Tamaño de transistores | Memoria direccionable | Memoria virtual | Características destacadas |
|------------|------|------|--------------------|--------------|------------------------|-----------------------|-----------------|---|
| Intel 4004 | 1971 | 4 | 740 kHz | 2,300 | 10 µm | 640 bytes | No | Primer CPU en un solo chip; sumas simples |
| Intel 8008 | 1972 | 8 | 200 kHz | 3,500 | 10 µm | 16 KB | No | Primer microprocesador de 8 bits, limitado en I/O |
| Intel 8080 | 1974 | 8 | 2 MHz | 6,000 | 6 µm | 64 KB | No | Uso general, conjunto de instrucciones más completo |

✳️ Tabla 2: Microprocesadores Intel – Años 80

| Procesador | Año | Bits | Velocidad de reloj | Transistores | Tamaño de transistores | Memoria direccionable | Memoria virtual | Características destacadas |
|-------------|------|------|--------------------|--------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|--|
| Intel 8086 | 1978 | 16 | 5–10 MHz | 29,000 | 3 µm | 1 MB (20-bit) | No | Base de la arquitectura x86; modo real |
| Intel 80286 | 1982 | 16 | 6–25 MHz | 134,000 | 1.5 µm | 16 MB (24-bit) | Parcial (modo protegido) | Segmentación de memoria, inicio de la multitarea |
| Intel 80386 | 1985 | 32 | 12–40 MHz | 275,000 | 1.5 µm | 4 GB (32-bit) | Sí (paginación) | CPU de 32 bits real; protección de memoria, multitarea robusta |

✳️ Tabla 5: Microprocesadores Intel – Años 2000–2010

| Procesador | Año | Bits | Velocidad de reloj | Transistores | Tamaño de transistores | Memoria direccionable | Memoria virtual | Características destacadas |
|-------------------------|------|------|--------------------|---------------|------------------------|-----------------------|---------------------|---|
| Pentium 4 (Willamette) | 2000 | 32 | 1.3 – 2.0 GHz | ~42 millones | 180 nm (0.18 µm) | 4 GB (32-bit) | Sí | Arquitectura NetBurst; pipeline profundo; enfoque en frecuencia alta |
| Pentium 4 (Prescott) | 2004 | 32 | 2.4 – 3.8 GHz | ~125 millones | 90 nm | 4 GB (32-bit) | Sí | SSE3, caché L2 más grande, alto consumo térmico |
| Intel Core 2 Duo | 2006 | 64 | 1.8 – 3.3 GHz | ~291 millones | 65 nm | 64 GB (con PAE) | Sí (paginación x64) | Arquitectura Core; bajo consumo; rendimiento multihilo real |
| Intel Core i7 (Nehalem) | 2008 | 64 | 2.66 – 3.33 GHz | ~731 millones | 45 nm | 64 GB o más (64-bit) | Sí | Arquitectura Nehalem; memoria DDR3; Hyper-Threading; controlador de memoria integrado |

Unidad 1 - Computadoras

✳️ Tabla 6: Microprocesadores Intel – Años 2010–2020

| Procesador | Año | Bits | Velocidad de reloj | Transistores | Tamaño de transistores | Memoria direccionable | Memoria virtual | Características destacadas |
|---|------|------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------|--|
| Intel Core i7-2600K (Sandy Bridge) | 2011 | 64 | 3.4 – 3.8 GHz | ~995 millones | 32 nm | 64 GB (teórico) | Sí | Arquitectura unificada; GPU integrada; Turbo Boost 2.0 |
| Intel Core i7-4770K (Haswell) | 2013 | 64 | 3.5 – 3.9 GHz | ~1.4 mil millones | 22 nm | 64 GB | Sí | Eficiencia energética; mejor rendimiento gráfico |
| Intel Core i7-6700K (Skylake) | 2015 | 64 | 4.0 – 4.2 GHz | ~1.75 mil millones | 14 nm | 64 GB o más | Sí | Soporte DDR4; nueva arquitectura; USB 3.1 |
| Intel Core i9-9900K (Coffee Lake Refresh) | 2018 | 64 | 3.6 – 5.0 GHz (Turbo) | ~2 mil millones (estimado) | 14 nm++ | 128 GB (con placas avanzadas) | Sí | 8 núcleos/16 hilos; rendimiento extremo para gaming y tareas pesadas |

✳️ Tabla 7: Microprocesadores Intel – Años 2020–Reciente (2025)

| Procesador | Año | Bits | Velocidad de reloj | Transistores | Tecnología de fabricación | Memoria direccionable | Memoria virtual | Características destacadas |
|--|-----------|------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------|--|
| Intel Core i9-10900K (Comet Lake) | 2020 | 64 | 3.7 – 5.3 GHz (Turbo) | ~2.1 mil millones | 14 nm+++ | 128 GB | Sí | 10 núcleos/20 hilos; altas frecuencias para gaming |
| Intel Core i9-12900K (Alder Lake) | 2021 | 64 | 3.2 – 5.2 GHz (Turbo) | ~21.7 mil millones | Intel 7 (10 nm mejorado) | 128 GB | Sí | Arquitectura híbrida: P-cores + E-cores; DDR5; PCIe 5.0 |
| Intel Core i9-13900K (Raptor Lake) | 2022 | 64 | 3.0 – 5.8 GHz (Turbo Max) | ~24 mil millones (estimado) | Intel 7 (10 nm++) | 192 GB (con placas específicas) | Sí | 8 P-cores + 16 E-cores; gran mejora en rendimiento multinúcleo |
| Intel Core i9-14900K (Raptor Lake Refresh) | 2023–2024 | 64 | 3.2 – 6.0 GHz (Turbo Max 3.0) | ~25 mil millones (estimado) | Intel 7 (optimizado) | 192 GB o más | Sí | Máxima frecuencia vista en Intel; rendimiento tope para escritorio |
| Intel Core Ultra 9 185H (Meteor Lake – portátil) | 2024 | 64 | 2.3 – 5.1 GHz | ~25 mil millones (multi-chip) | Intel 4 (7 nm EUV) | >128 GB | Sí | Chiplets con CPU, GPU, NPU (IA); arquitectura desregada; enfoque IA y eficiencia |

Unidad 1 - Computadoras

Velocidad del Microprocesador

El aumento sostenido en la **velocidad y capacidad de los microprocesadores** ha sido posible gracias a mejoras tanto **tecnológicas** como **arquitectónicas**. Estas mejoras no solo se enfocan en aumentar la frecuencia del reloj, sino también en **optimizar el flujo de instrucciones** dentro del procesador para maximizar la eficiencia de cada ciclo.

Ley de Moore: aún vigente en la década pasada

- La **Ley de Moore** establece que el número de transistores en un chip se duplica aproximadamente cada 18 meses. En términos más amplios, **se cuadriplica cada tres años**, lo que permite crear procesadores más complejos y potentes dentro del mismo espacio físico.
- Este crecimiento ha habilitado mayores **niveles de paralelismo, cachés más grandes y múltiples núcleos** por chip.

Evolución paralela de la DRAM

- La **memoria DRAM**, aunque no evoluciona tan rápido como los procesadores, también ha seguido un crecimiento similar, cuadruplicando su **capacidad de almacenamiento cada tres años**.
- Esto permite a los sistemas manejar **mayores volúmenes de datos** y programas más complejos en memoria principal.



Técnicas de optimización del flujo de instrucciones

Con el fin de maximizar el aprovechamiento de cada ciclo del procesador, se han incorporado técnicas avanzadas de control de flujo:

1. **Predicción de ramificación (Branch Prediction)**
 - Se anticipa la dirección que tomará una instrucción condicional (como un **if** o **while**) antes de que se conozca su resultado.
 - Esto **evita detener el cauce de instrucciones** y permite continuar con la ejecución especulativa.
2. **Ánalysis del flujo de datos (Data Flow Analysis)**
 - El procesador analiza las **dependencias entre instrucciones** para reordenarlas de forma que **se ejecuten en paralelo o sin bloqueos**, respetando el resultado final correcto.
 - Esta técnica es clave en **diseños superescalares y de ejecución fuera de orden**.
3. **Ejecución especulativa (Speculative Execution)**
 - El procesador **ejecuta instrucciones que podrían necesitarse en el futuro**, antes de que se confirme si son necesarias.
 - Si la predicción resulta correcta, se gana tiempo; si no, se descartan sin afectar el resultado.
 - Esta técnica **aprovecha los ciclos ociosos y reduce la latencia efectiva**.



Resultado: Mayor rendimiento sin aumentar la frecuencia

Gracias a estas técnicas, los procesadores modernos logran **mayor rendimiento por ciclo (IPC)** sin depender únicamente de aumentar la frecuencia del reloj, lo cual es importante para **reducir consumo energético y gestionar el calor**.

Unidad 1 - Computadoras

Mejoras en la Arquitectura de Chips

Estrategias para aumentar el rendimiento del procesador

A lo largo de las décadas, los fabricantes han implementado múltiples mejoras arquitectónicas y tecnológicas en los chips de los microprocesadores con el fin de **aumentar su velocidad de ejecución y eficiencia energética**. Estas mejoras se pueden agrupar en tres grandes áreas:

1. Más velocidad del hardware

- **Reducción del tamaño de los transistores (miniaturización):**
 - El paso a tecnologías de fabricación más avanzadas (por ejemplo, de 90 nm a 7 nm y hoy hasta 3 nm) ha permitido incluir **más transistores en el mismo espacio**.
 - Esto reduce el consumo energético, la disipación térmica y permite una **mayor densidad de cálculo**.
- **Frecuencias de reloj más altas:**
 - Al reducir el tamaño de los transistores, es posible aumentar la frecuencia de reloj (GHz), lo que permite ejecutar **más instrucciones por segundo**.
 - Ejemplo: de 1 GHz en los años 2000 a más de 5 GHz en algunos procesadores actuales.

2. Mejores memorias caché

- Las **cachés internas** son memorias de muy alta velocidad ubicadas directamente en el chip del procesador. Su objetivo es almacenar instrucciones y datos frecuentemente utilizados.
 - **Caché L1 (nivel 1):**
 - La más rápida, pero de menor capacidad (32–128 KB típicamente).
 - Dividida en caché de datos e instrucciones.

- **Caché L2 (nivel 2):**
 - Más grande (256 KB – 2 MB) y un poco más lenta.
 - Puede ser compartida entre núcleos.
- **Caché L3 (nivel 3):**
 - Compartida por todos los núcleos, con capacidades mayores (4–64 MB).
 - Reduce el tiempo de acceso a datos compartidos entre núcleos.
- Estas memorias reducen significativamente el número de accesos a la **RAM principal**, acelerando la ejecución de programas.

3. Arquitectura paralela

Para ir más allá del aumento de la frecuencia, se han implementado diseños que **permiten ejecutar varias instrucciones simultáneamente**:

- **Segmentación de cauce (pipelining):**
 - Técnica que divide la ejecución de una instrucción en varias etapas (ej.: búsqueda, decodificación, ejecución, escritura).
 - Permite que varias instrucciones estén en diferentes etapas del proceso **al mismo tiempo**, como una línea de ensamblaje.
- **Diseño superescalar:**
 - Permite ejecutar **múltiples instrucciones por ciclo de reloj** usando varios cauces de ejecución paralelos.
 - El procesador analiza las instrucciones entrantes y las reparte a las unidades disponibles si no hay dependencias entre ellas.
- **Multinúcleo (multi-core):**
 - Integración de **varios núcleos** en un mismo chip, cada uno capaz de ejecutar instrucciones de manera independiente.
 - Muy efectivo para cargas de trabajo paralelizables como procesamiento multimedia, virtualización y servidores.

Resultado global

Gracias a estas mejoras, los microprocesadores actuales logran **altos niveles de rendimiento y eficiencia**, permitiendo ejecutar múltiples aplicaciones, juegos, simulaciones y procesos de inteligencia artificial en tiempo real.

Unidad 1 - Computadoras

🧠 Clasificación de Flynn de las Computadoras

La **Clasificación de Flynn** fue propuesta por **Michael J. Flynn** en 1966 y es una forma de categorizar las **arquitecturas de computadoras** con base en el número de **flujos de instrucciones y flujos de datos** que procesan de forma simultánea.

Esta clasificación es fundamental en arquitectura de computadoras, ya que permite entender cómo se organiza y paraleliza el procesamiento dentro de un sistema.

📊 Tabla Resumen de la Clasificación

| Tipo | Flujo de Instrucción | Flujo de Datos | Descripción general |
|------|----------------------|----------------|--|
| SISD | Uno | Uno | Procesamiento secuencial tradicional |
| SIMD | Uno | Múltiples | Procesamiento en paralelo de datos (vectorial) |
| MISD | Múltiples | Uno | Muy raro; redundancia o procesamiento en cascada |
| MIMD | Múltiples | Múltiples | Multiprocesamiento general moderno |

① SISD – Single Instruction, Single Data

- **Un solo flujo de instrucciones y un solo flujo de datos.**
- Modelo clásico de **computadora secuencial** (como las primeras PC).
- La **CPU ejecuta una instrucción a la vez** sobre un dato a la vez.
- **Ejemplo:** Microprocesadores como el Intel 8086, 80286 o cualquier arquitectura mononúcleo sin paralelismo interno.
- **💡 Es la arquitectura más simple y tradicional.**

② SIMD – Single Instruction, Multiple Data

- **Una sola instrucción** se aplica simultáneamente a **múltiples datos**.
- Ideal para **procesamiento vectorial** y operaciones repetitivas sobre grandes bloques de datos.
- Utiliza unidades de ejecución paralelas que trabajan con el mismo conjunto de instrucciones, pero con diferentes datos.
- **Ejemplos:**
 - GPUs (un mismo shader procesando varios píxeles).
 - Procesadores vectoriales como el **Cray-1**.
 - Instrucciones SIMD en CPUs modernas: **SSE, AVX (Intel/AMD)**.
- **💡 Muy útil en aplicaciones de gráficos, inteligencia artificial, y simulaciones científicas.**

③ MISD – Multiple Instruction, Single Data

- **Múltiples flujos de instrucciones**, pero **sobre el mismo dato**.
- Poco común en la práctica; más bien teórico.
- Podría aplicarse a **sistemas de tolerancia a fallos o procesamiento redundante**, donde varios procesadores ejecutan distintas operaciones sobre los mismos datos para ver si los resultados coinciden (verificación).
- **Ejemplo hipotético:** sistemas de control de vuelo críticos (aviónica), donde múltiples módulos evalúan datos del sensor de manera distinta.
- **💡 Raro en sistemas comerciales o personales.**

④ MIMD – Multiple Instruction, Multiple Data

- **Múltiples instrucciones** se ejecutan **sobre múltiples datos** simultáneamente.
- Arquitectura más común en sistemas modernos.
- Cada procesador puede ejecutar su propia instrucción sobre su propio conjunto de datos.
- Soporta **paralelismo asíncrono**, ideal para sistemas multiprocesador y multinúcleo.
- **Ejemplos:**
 - Computadoras de alto rendimiento.
 - Servidores multinúcleo (Intel Xeon, AMD EPYC).
 - Supercomputadoras, clusters, sistemas distribuidos.
- **💡 Base de la computación moderna y de arquitecturas paralelas como SMP (procesamiento simétrico) y NUMA (memoria no uniforme).**