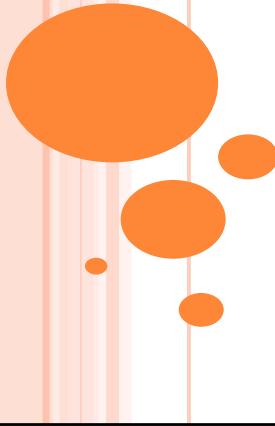


# Arquitectura e Ingeniería de Computadores

Grado de Ingeniería del Software

## TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LOS COMPUTADORES



David Miraut Andrés

Carlos Garre del Olmo

Luis Rincón Córcoles

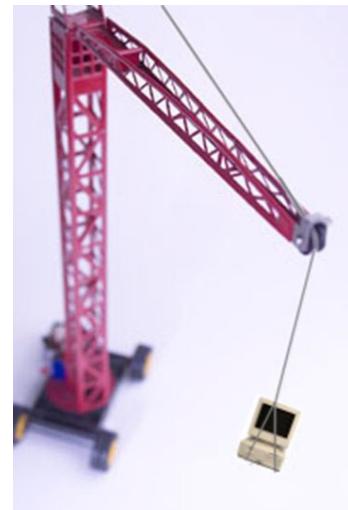
Ángel Serrano Sánchez de León

## ÍNDICE

- **Conceptos básicos**
- Modelo de computador
  - Unidades funcionales
- Microprocesadores
  - Unidad de tratamiento
  - Unidad de control

## ARQUITECTURA / ORGANIZACIÓN

### ○ Arquitectura (arquitectura de repertorio de instrucciones, ISA)



3

### ○ Organización (microarquitectura)

- A lo largo de todo el curso llamaremos “AIC” a la asignatura de Arquitectura e Ingeniería de Computadores.
- Arquitectura (arquitectura de repertorio de instrucciones, *instruction set architecture*, ISA): atributos del sistema visibles a nivel de la programación en ensamblador o que tienen impacto directo en la ejecución lógica de un programa. Ejemplos: repertorio de instrucciones, tamaño de los datos y buses, mecanismos de E/S, modos de direccionamientos a memoria, etc.
- Organización (microarquitectura): unidades operacionales y sus interconexiones en la especificación de una arquitectura. Ejemplos: detalles del hardware que son transparentes a nivel de programación, como señales lógicas, interfaces ordenador-periféricos, tecnología de memoria, memoria caché, memoria virtual, tipo de disco duro (magnético/estado sólido), sistema operativo, etc.
- **EJEMPLO:** Una posible decisión de arquitectura es si un repertorio de instrucciones tendrá una instrucción específica para multiplicar dos números. Podemos definir la instrucción “mul r1, r2, r3”, que utiliza 2 operandos fuente ubicados en sendos registros (r2 y r3) y 1 operando destino también en un registro (r1), el cual solo almacena la mitad inferior del resultado. También se podría establecer una sintaxis diferente, como “mul r1, r2”, donde los operandos fuente son ahora los registros r1 y r2, mientras que el resultado se almacena en un par de registros ocultos o implícitos del hardware (por ejemplo, llamados “hi” y “lo”), ya que el resultado de la multiplicación tiene un tamaño total que es el doble del de los datos originales. Como se ve, esta definición de la instrucción afecta directamente a la programación en ensamblador. Sea como sea la instrucción, la decisión de organización sería si esa multiplicación se realizará en el hardware mediante sumas repetidas (a través de un bucle de  $r2 \cdot r3$  iteraciones) o bien mediante un algoritmo específico, como el de suma-desplazamiento (que tiene  $n$  iteraciones si los datos son de  $n$  bits).
- Los procesadores Intel Atom e Intel Core i7 tienen la misma arquitectura, ya que ambos son capaces de ejecutar los mismos programas, pero muy distinta organización, donde el Core i7 es mucho más potente y moderno que el Atom.

## ARQUITECTURA / ORGANIZACIÓN

### ○ Arquitectura:

- ¿Es algo que un/a programador/a de bajo nivel conoce?
- ¿Existe instrucción en ensamblador?
- ¿Influye en el formato binario de las instrucciones?
- ¿Es compartido entre diferentes miembros de una familia de ordenadores compatibles?
- ¿Es algo que se mantiene con el tiempo (al menos por una temporada)?

### ○ Organización:

- ¿Tiene que ver con la implementación?
- ¿Es invisible o inaccesible desde el punto de vista de la programación en ensamblador?
- ¿Es algo específico de un computador, no compartido con otros miembros de su familia?
- ¿Es un aspecto tecnológico que caduca rápidamente en el tiempo?
- ¿Tiene que ver con señales de control o con el sistema operativo?

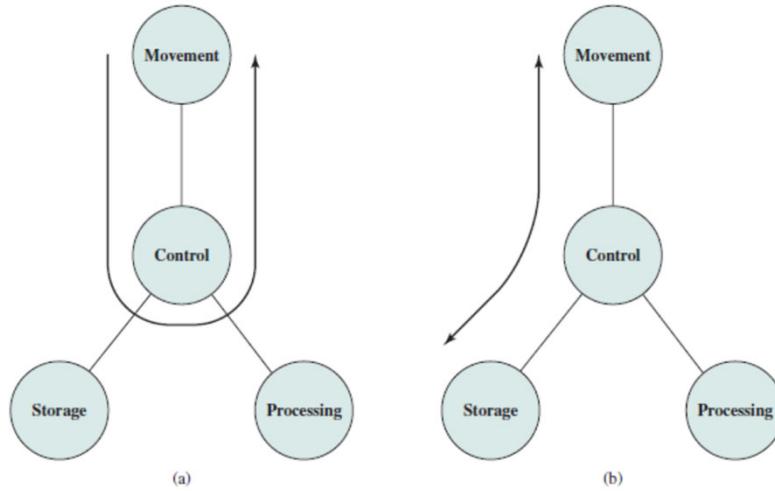
4

- Aquí se muestran algunos consejos para distinguir si un aspecto del computador corresponde a la arquitectura o a la organización.
- Salvo aspectos excepcionales (por su carácter compuesto o múltiple), pertenecer a la vez a la arquitectura y a la organización es incompatible: o es arquitectura o es organización.

## ÍNDICE

- Conceptos básicos
- **Modelo de computador**
  - Unidades funcionales
- Microprocesadores
  - Unidad de tratamiento
  - Unidad de control

## OPERACIONES DE UN COMPUTADOR



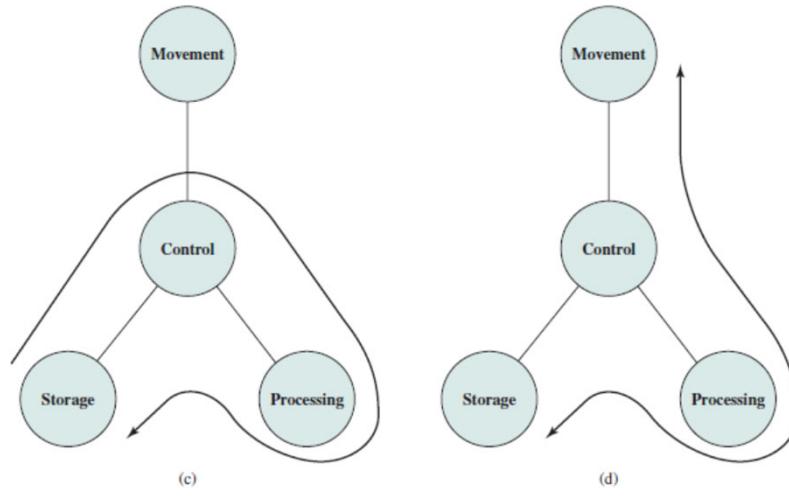
6

Operaciones que realiza un computador:

- Almacenamiento
- Procesamiento
- Movimiento
- Control

Figura extraída de: William Stallings, Computer Organization and Architecture – Designing for Performance, Pearson, 9.<sup>a</sup> edición, 2013, página 11.

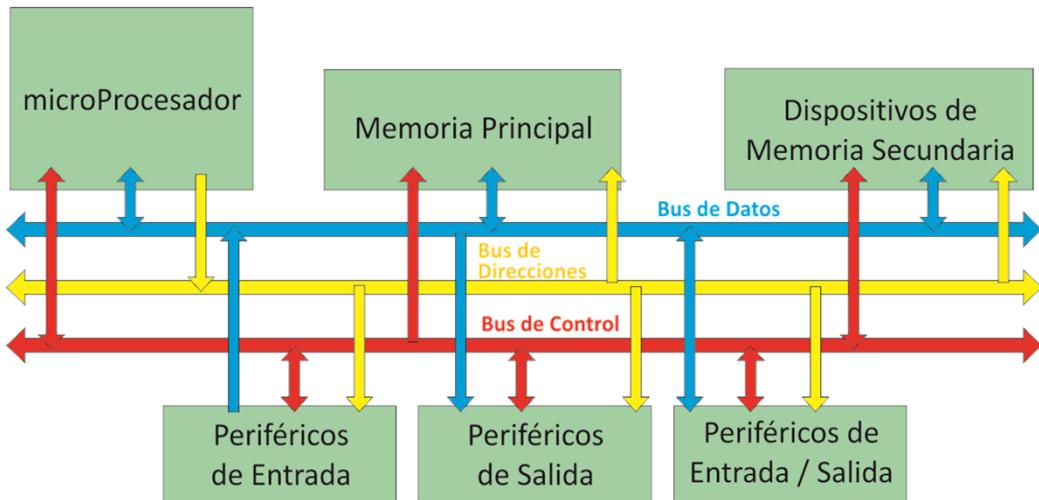
## OPERACIONES DE UN COMPUTADOR



7

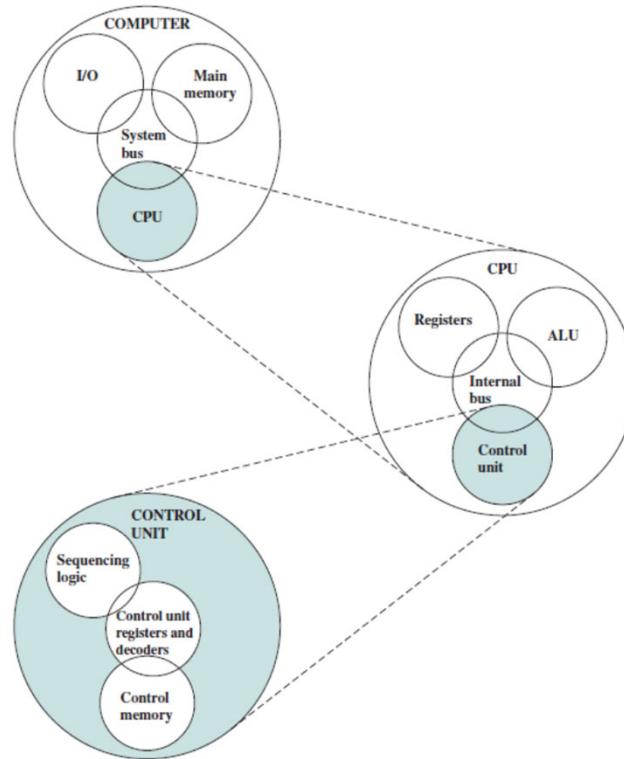
Figura extraída de: William Stallings, Computer Organization and Architecture – Designing for Performance, Pearson, 9.<sup>a</sup> edición, 2013, página 11.

## ESTRUCTURA DE UN COMPUTADOR SIMPLIFICADO



8

- La arquitectura de von Neumann es el modelo abstracto de computador que se viene usando sin descanso desde los años 40 del siglo pasado. Clasifica las partes internas del computador en 4 unidades funcionales (cada una cumple una función concreta):
  - Unidad central de proceso (*central processing unit*, CPU) o microprocesador.
    - Es el elemento encargado de leer las instrucciones de los programas y ejecutarlas una a una.
    - Para ello controla y sincroniza todos los elementos del computador para que actúen ordenadamente.
    - Está implementada en un circuito integrado o chip.
    - Hoy en día los microprocesadores más potentes contienen decenas de miles de millones de transistores en un solo chip.
  - Memoria:
    - Cada posición de memoria tiene una dirección que la identifica.
    - Organizada en una jerarquía, entre cuyos niveles se encuentran, entre otros:
      - Memoria principal (*random access memory*, RAM), que contiene los datos y los programas actualmente en uso.
      - Memoria secundaria (discos duros, CDROM, DVD, memorias USB, etc.), que también pueden considerarse como periféricos de almacenamiento.
  - Unidad de entrada/salida, que comunica el procesador con los periféricos.
    - Periféricos de entrada (ratón, teclado, etc.).
    - Periféricos de salida (pantalla, altavoz, etc.).
    - Periféricos de entrada/salida (pantalla táctil, tarjeta de red, etc.).



9

- Continuación de la transparencia anterior:
  - Buses de interconexión entre los diferentes componentes. El bus del sistema se divide en:
    - Bus de datos, que transporta los datos que se transfieren entre dos elementos del computador.
    - Bus de direcciones, que transporta las direcciones o posiciones de memoria a las que se quiere acceder para leer o escribir.
    - Bus de control, que transporta el resto de las señales que son necesarias para activar o desactivar en el momento adecuado cada uno de los componentes del computador.
- En la transparencia actual vemos una visión de arriba abajo de un computador, que resume el modelo de von Neumann.
- Figura extraída de: William Stallings, Computer Organization and Architecture – Designing for Performance, Pearson, 9.<sup>a</sup> edición, 2013, página 13.

## ASIGNATURAS DEL ÁREA DE ARQUITECTURA DE COMPUTADORES EN LA TITULACIÓN GIS

- Primer curso:
  - Introducción a la Informática
- Segundo curso:
  - Arquitectura e Ingeniería de Computadores
- Tercer curso:
  - Sistemas Operativos

10

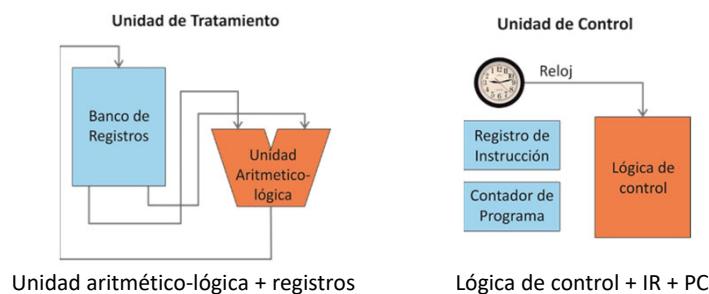
- En otros grados, como el de Ingeniería Informática o el de Ingeniería de Computadores, se estudian más asignaturas del área de Arquitectura de Computadores. En Ingeniería del Software solo tenemos estas tres asignaturas, a las que podríamos añadir la de Fundamentos Físicos de la Informática, que es complementaria.
- La programación en ensamblador se ha estudiado en Introducción a la Informática de primer curso.
- En esta asignatura de AIC nos centraremos sobre todo en el estudio de las unidades funcionales del modelo de von Neumann:
  - Unidad Central de Proceso, que incluye el camino de datos y la unidad aritmético-lógica
  - Memoria
  - Periféricos y Entrada/Salida
  - Interconexiones (buses)
- El último tema de AIC tratará sobre conceptos avanzados en Arquitectura de Computadores, sobre todo para introducir el concepto de paralelismo (a nivel de instrucción, de hilo, de procesador, de datos).
- La asignatura de tercero sobre Sistemas Operativos profundizará en los temas de memoria virtual y Entrada/Salida, entre otros.

## ÍNDICE

- Conceptos básicos
- Modelo de computador
  - Unidades funcionales
- **Microprocesadores**
  - Unidad de tratamiento
  - Unidad de control

## MICROPROCESADORES

- CPU: unidad central de proceso (*central processing unit*).
  - Es el elemento central del computador.
- La CPU se encarga de:
  - Ordenar a los restantes elementos del computador que realicen las funciones requeridas por las instrucciones.
  - Ejecutar las operaciones aritméticas y lógicas necesarias para la ejecución de las instrucciones.
- Componentes de la CPU:



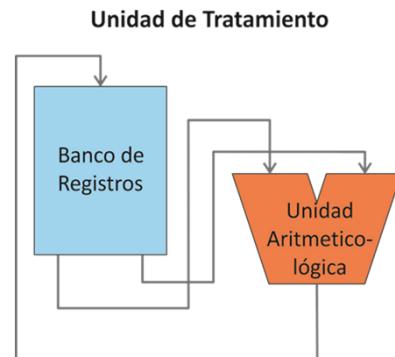
12

- El microprocesador es el circuito integrado o chip que corresponde a la unidad central de proceso (CPU), la parte más importante del computador.
  - Envía señales al resto de componentes del computador para que realicen las acciones adecuadas en los momentos necesarios con el objetivo de ejecutar los programas.
  - Incluye los circuitos que realizan todos los cálculos.
- Tiene dos partes:
  - Unidad de tratamiento de datos.
  - Unidad de control.

## UNIDAD DE TRATAMIENTO

No toma decisiones, sino que simplemente hace lo que la UC le ordene.

El cometido de la Unidad de Tratamiento es realizar las operaciones (procesar los datos).



- Una **unidad aritmético-lógica**

**(ALU: *arithmetic-logic unit*)** es un circuito combinacional relativamente simple capaz de realizar operaciones sencillas:

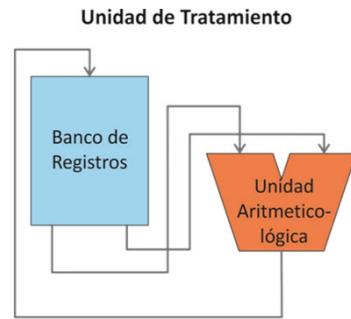
- Operaciones aritméticas (sumar, restar, multiplicar y dividir, ...).
- Operaciones lógicas (and, or, not, ...).
- Otras operaciones (desplazamiento de bits, ...).

13

- Unidad de tratamiento o procesamiento de datos:
  - Su objetivo es realizar los cálculos matemáticos necesarios para ejecutar los programas.
  - Se compone de:
    - Banco de registros, que es un elemento de memoria que permite almacenar datos temporalmente, a los que se accede muy rápidamente.
    - Unidad aritmético-lógica (*arithmetic-logic unit*, ALU), que es un circuito combinacional (sin memoria) que realiza las operaciones matemáticas (aritméticas, lógicas, de desplazamiento, etc.).
  - Es habitual hoy en día que los operandos fuente que utiliza la ALU en sus operaciones procedan de dos registros del banco. El resultado de la operación también se almacena en un registro.
  - Al conjunto de registros, ALU, multiplexores, conectores, etc., por los que van pasando los datos que se utilizan en los programas se le denomina camino (ruta o cauce) de datos.

## UNIDAD DE TRATAMIENTO

- Un **registro** es una pequeña memoria de unos pocos bits (según la arquitectura puede ser de 8, 16, 32, 64, 128 bits...).
- El **banco de registros (RF: Register File)** es un conjunto de registros, cuya función principal es servir de almacén temporal para los operandos y para los resultados de las operaciones que realice la ALU.
- **Un registro es la memoria más rápida que posee el computador por lo que, si los datos más utilizados están en los registros del procesador, nuestro programa se ejecutará a mayor velocidad.**



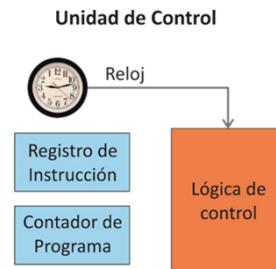
14

- Un registro:
  - Es un conjunto de biestables sincronizados con la misma señal de reloj (están coordinados entre sí).
  - Se trata de un elemento de memoria.
    - Volátil (se borran al apagar el ordenador).
    - De acceso muy rápido (están en la cúspide de la jerarquía de memoria).
    - De poca capacidad (pocos bits, según el tamaño de palabra del computador).
  - Los registros se organizan en bancos de registros.

## UNIDAD DE CONTROL

Trabaja en un bucle infinito, controlado por un **reloj**:

1. Lee las instrucciones.
2. Decodifica las instrucciones.
3. **Manda órdenes** (señales de control) al resto de componentes para ejecutar la instrucción.



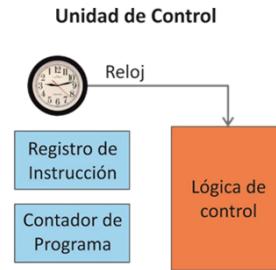
- Sabe qué instrucción debe leer gracias al **contador de programa** (**PC**: *program counter*). Es un registro que contiene la dirección de la próxima instrucción a ejecutar.
- La instrucción leída la almacena en el **registro de instrucción** (**IR**: *instruction register*).
- La **lógica de control** es un circuito que, recibiendo como entrada una instrucción, devuelve como salida todas señales de control para cada componente del computador. Para una única instrucción normalmente hay que dar varias órdenes a diferentes componentes, y muchas veces estas órdenes deben ejecutarse en un orden determinado.

15

- La unidad de control (UC):
  - Es la parte de la CPU que controla y coordina todos los componentes del computador, a modo de director de orquesta o policía de tráfico.
  - Normalmente se implementa mediante un circuito secuencial (máquina de estados) que trabaja en un bucle infinito, pasando de estado en estado.
    - Cada estado representa una configuración concreta del circuito, con algunos elementos activos y otros no.
  - Sus labores son:
    - Leer una a una las instrucciones del programa en ejecución.
    - Decodificarla, es decir, identificar qué instrucción es, calcular dónde están sus operandos y buscarlos, etc.
    - Ejecutar la instrucción, para lo cual manda las señales que activan o desactivan el resto de componentes del computador en el instante adecuado. Se basa para ello en una señal de reloj que sirve para sincronizar todas las operaciones.
  - Dispone de registros especiales:
    - Contador de programa (*program counter*, PC): almacena la dirección de la siguiente instrucción que hay que ejecutar.
    - Registro de instrucción (*instruction register*, IR): almacena la instrucción que está ejecutando durante todo el tiempo que necesita para completar su ejecución.
      - Según el tipo de camino de datos, cada instrucción puede ejecutarse de principio a fin en un solo ciclo de reloj (uniciclo), o bien, en un número entero de ciclos, aunque diferente para cada tipo de instrucción (multiciclo).

## UNIDAD DE CONTROL

- La unidad de control además:
  - Resuelve situaciones anómalas o de conflicto.
  - Atiende las interrupciones.
  - Controla la comunicación con los periféricos.
- Entradas de la UC:
  - Código de operación (del registro IR).
  - Reloj (sincroniza todas las operaciones).
  - Registro de estado (en algunos casos).
- Salidas de la UC:
  - Señales de control: activan o desactivan el resto de los componentes en el momento adecuado.
- El **registro de estado** contiene información sobre determinadas condiciones de los resultados de las operaciones (resultado 0, signo del resultado,...), así como posibles situaciones anómalas o especiales (desbordamientos aritméticos, errores de paridad,...).



16

- Otras tareas de la UC:
  - Detectar y resolver problemas.
  - Detectar y atender interrupciones (señales enviadas por otros componentes hacia el procesador para que interrumpa la ejecución de la instrucción actual para que pase a atenderlos).
  - Se comunica con los periféricos.
- El circuito de la UC dispone de:
  - Entradas:
    - Código de operación: bits de la instrucción (almacenada en el registro de instrucción) que identifican qué instrucción es exactamente.
    - Señal de reloj, que sincroniza todas las operaciones mediante sus flancos.
    - Registro de estado, que almacena información sobre las últimas operaciones realizadas (si la última operación dio cero como resultado, si fue negativo, si hubo desbordamiento aritmético, etc.). Estos valores se usan a veces en la toma de decisiones (saltos condicionales).
  - Salidas:
    - Todas las señales de control que activan o desactivan el resto de los componentes del camino de datos.

## LOS PRIMEROS MICROPROCESADORES

- Los primeros microprocesadores fueron diseñados en 1971, eran capaces de manejar datos de 4 bits de ancho y fueron diseñados para controlar calculadoras.
  - Intel 4004.
  - TMS-1000 de Texas Instruments: era en realidad un microcomputador.
- El Intel 8008 fue el primer microprocesador de 8 bits, y estuvo disponible en 1972.
  - Se diseñó para implementar un terminal programable (teclado+pantalla) y conectable a diferentes sistemas centrales (mainframes).
- Otros diseños de 8 bits fueron:
  - Intel 8080 (1974): dio origen al 8086 y a los restantes microprocesadores de la familia 80x86.
  - Motorola 6800 (1974), MOS 6502 (1975), Zilog Z80 (1976).
- Los primeros microprocesadores de 16 bits comenzaron a popularizarse a finales de los años 70 y primeros de los 80, en buena parte coexistiendo con diseños de 32 bits, que se impusieron a partir del año 85 en adelante.
  - Motorola 68000 (1979): microprocesador con 32 bits de ancho de registros, pero con bus de datos externo de 16 bits y de direcciones de 24 bits por limitaciones debidas a la tecnología de encapsulamiento de los chips.
- En los años 90 se sucedieron los diseños de 32 bits con cada vez mayor frecuencia de reloj.

17

- Es bueno conocer brevemente la historia de los microprocesadores.
- Antes de 1971, las unidades centrales de proceso se construían con componentes discretos (transistores, condensadores, etc.).
- El primer microprocesador (=una CPU en un único chip) se inventó en 1971: Intel 4004, que manejaba datos de 4 bits.
- Su sucesor, el Intel 8008, duplicó el ancho de palabra a 8 bits.
- En los años 70 del siglo pasado surgieron otros procesadores de 8 bits.
- El salto a los 16 bits vino con el Intel 8086, que se usó en el IBM PC. Este chip dio lugar a la familia de procesadores x86, vigente hoy en día y la más popular en el mercado de los ordenadores de sobremesa y portátiles.
- En los 80 aparecieron los procesadores de 32 bits (uno de ellos fue MIPS) y continuaron su desarrollo en los 90.

## LOS MICROPROCESADORES ACTUALES

- En paralelo, a partir de finales de los años 90 se comenzó a introducir elementos adicionales en los microprocesadores:
  - Memorias caché (son pequeñas memorias de acceso rápido para los datos e instrucciones más recientemente utilizados).
  - Coprocesadores aritméticos para datos en coma flotante.
  - Diversas técnicas de mejora de la ejecución de las instrucciones (segmentación de cauce, procesadores superescalares, buffers de predicción de saltos, buffers de lectura anticipada de instrucciones, etc.).
- En los últimos años se han popularizado los microprocesadores de 64 bits.
- Dado que por razones tecnológicas no se puede incrementar demasiado la frecuencia de reloj, se ha optado por otros enfoques, como los procesadores multihilo y multinúcleo.

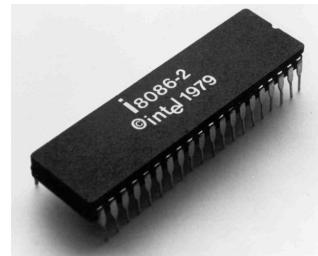
18

- Para aumentar las prestaciones de los computadores, se introdujeron técnicas cada vez más complicadas para permitir que la mayor parte del tiempo pueda estar trabajando el procesador, ya que los procesadores son cada vez más y más rápidos y el resto de los componentes no son capaces de seguir el ritmo.
  - Memoria caché: memoria de un nivel intermedio entre los registros y la memoria principal que permite accesos más rápidos a los datos y las instrucciones usados recientemente.
  - Coprocesadores aritméticos, que son circuitos especializados en las operaciones de coma flotante (IEEE 754).
  - Segmentación de cauce: solapamiento de la ejecución de varias instrucciones, cada una en una etapa o fase diferente de su ejecución.
  - Procesadores superescalares: tienen componentes replicadas (por ejemplo, 2 o más unidades aritmético-lógicas), lo que permite la emisión y la ejecución simultáneas de varias instrucciones.
  - Buffers de predicción de saltos, que permiten predecir y adelantar el resultado de una instrucción de salto condicional antes de evaluar la condición.
  - Buffers de lectura anticipada, que permiten ir leyendo y almacenando varias instrucciones antes de que toque ejecutarlas, con lo que se ahorra tiempo.
- Desde la década de 2000 existen los procesadores de 64 bits.
- Algunas de las últimas mejoras han sido fabricar procesadores multinúcleo (varios procesadores independientes en el mismo chip) o multihilo (ejecución simultánea de hilos independientes), entre otras.

## MICROPROCESADORES



Intel 4004 (1971): el primer microprocesador de la historia



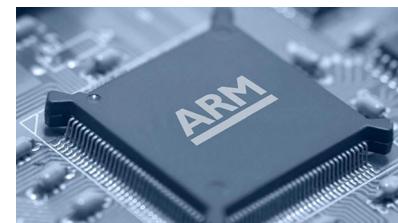
Intel 8086 (1978): el microprocesador del primer IBM PC (1981)



Intel Pentium (1993): un microprocesador que no sabía dividir



Intel Core i7 (2008): procesador multinúcleo de la actualidad



Familia ARM, los procesadores que están en tu bolsillo y en todas partes

19

- En esta diapositiva se muestran algunos hitos en la historia de los microprocesadores:
  - Intel 4004:
    - Procesador con palabra de 4 bits, el primero de la historia.
  - Intel 8086:
    - El primer procesador de la familia x86.
    - Palabra de 16 bits.
    - Una variante de este procesador se usó en el primer ordenador llamado "PC", fabricado por la empresa IBM.
  - Intel Pentium:
    - A pesar de una gran campaña de publicidad, se descubrió que tenía un defecto de fabricación que le provocaba errores en algunas divisiones de coma flotante (error FDIV).
    - Tras unos meses intentando ocultar el fallo, Intel tuvo pérdidas millonarias al reconocer el error.
    - Aun así, Intel se recuperó y fabricó nuevos chips hasta el Pentium 4.
  - Intel Core i7:
    - En los últimos años han surgido procesadores multinúcleo (*multicore*), que albergan varios procesadores en el mismo chip.
    - De la familia i3, i5 e i7 se han fabricado varias generaciones.
    - Los procesadores Intel son los más habituales en ordenadores de sobremesa y portátiles, junto con los del fabricante AMD (rival de Intel).
  - Procesadores ARM:
    - Hoy en día, los procesadores más frecuentes no son los de la familia x86 de Intel, sino los de la arquitectura ARM (varios fabricantes).
    - Estos procesadores están presentes en todo tipo de dispositivos, principalmente teléfonos móviles, *tablets*, algunos portátiles y todo tipo de sistemas empotrados.