

Estructura de Computadores

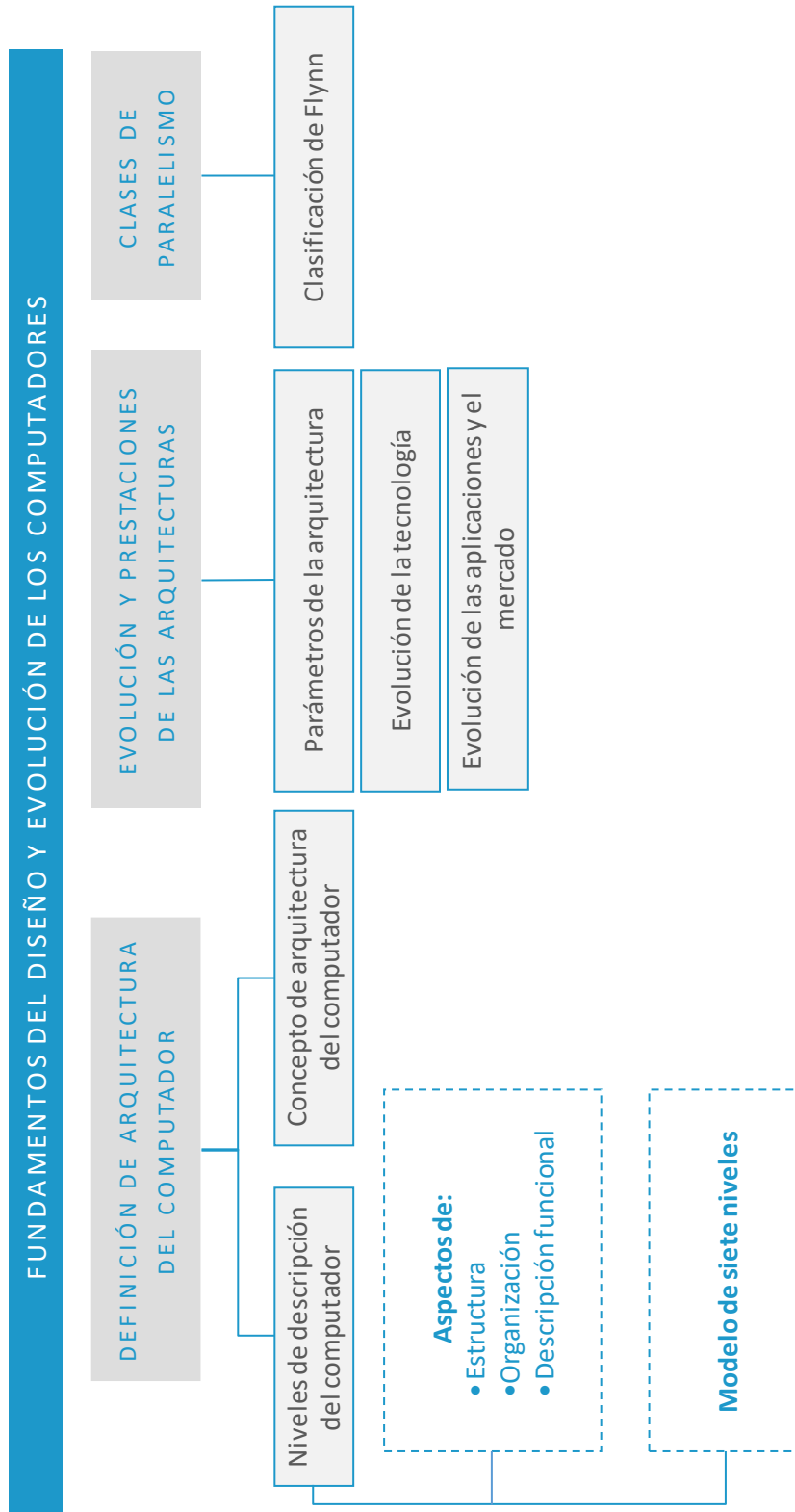
---

# Fundamentos del diseño y evolución de los computadores

# Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
1.1. Introducción y objetivos	4
1.2. Definición de arquitectura del computador	4
1.3. Evolución y prestaciones de las arquitecturas	8
1.4. Arquitecturas paralelas y niveles de paralelismo	11
1.5. Referencias bibliográficas	17
A fondo	18
Test	21

# Esquema



## 1.1. Introducción y objetivos

Para estudiar este tema lee las **ideas clave** que se desarrollan a continuación.

En este primer tema comenzaremos presentando una serie de **definiciones** y **conceptos** que iremos empleando a lo largo de la asignatura.

Comenzaremos con un análisis de distintas contribuciones que se han producido a lo largo del tiempo para obtener el **concepto de arquitectura de un computador** y de otros elementos directamente ligados al mismo. En este recorrido se presentan diferentes visiones de la **descripción de un computador** como evolución para la consecución de la definición de arquitectura.

Posteriormente se presentan los distintos **aspectos** que han hecho **evolucionar** la arquitectura de un computador con la finalidad esencial de **mejorar sus prestaciones**.

Por último, se presenta el **paralelismo** como uno de los elementos clave de la evolución de los computadores y se describen las distintas **clasificaciones de arquitecturas paralelas** que, al final, son el motivo fundamental de esta asignatura.

## 1.2. Definición de arquitectura del computador

El primer uso del concepto de **arquitectura del computador** aparece en la presentación del S/360 de IBM, realizada por Amdahl et al., en 1964. En este trabajo se decía que: «La arquitectura de un computador es la estructura del computador

que un programador en lenguaje máquina debe conocer para escribir un programa correcto (independiente del tiempo)».

Esta definición incluye elementos tales como la estructura de registros, la memoria o el juego de instrucciones del computador pero no tiene en cuenta su implementación, física y lógica, su configuración interna (microarquitectura) o la tecnología empleada.

La definición de arquitectura del computador se ha ido ampliando posteriormente, incluyendo otros aspectos, a partir de la evolución de la idea de un computador como un **conjunto de niveles de abstracción** con **estructura jerárquica** lo que permite agrupar arquitectura y tecnología en el mismo concepto.

## Niveles de descripción del computador

En este punto se presentan **distintos modelos de niveles** que han desarrollado, a lo largo de los años de evolución de los computadores, diferentes autores para facilitar su estudio, entre ellos cabe destacar:

- ▶ La estructura de Niveles Conceptuales de Blaaw (1970).
- ▶ Los Niveles Estructurales de Bell y Newell (1971).
- ▶ Los Niveles de Interpretación de Levy (1978).
- ▶ Los Niveles Funcionales de Tanenbaum (1986).

Unos hacen más hincapié en aspectos estructurales, otros emplean una perspectiva más funcional.

Combinando ambas perspectivas los autores (Ortega et al., 2005) presentan un modelo integrador desarrollado en siete niveles de abstracción (figura 1):

- ▶ Nivel de componentes físicos.
- ▶ Nivel de circuito electrónico.
- ▶ Nivel de lógica digital.

- ▶ Nivel de transferencia entre registros.
- ▶ Nivel de sistema computador.
- ▶ Nivel de sistema operativo.
- ▶ Niveles software superiores.

Para interpretar adecuadamente esta descripción es necesario entender los **conceptos** de:

- ▶ **Estructura:** definida en función de los componentes con los que un nivel inferior sustenta al superior.
- ▶ **Organización:** se refiere a los flujos de control y datos entre componentes.
- ▶ **Descripción funcional:** características de comportamiento de un elemento a modo de bloque que sirva de base para un nivel superior.
- ▶ **Arquitectura concreta:** descripción de la estructura y organización de un elemento.
- ▶ **Arquitectura abstracta:** descripción funcional de un elemento.

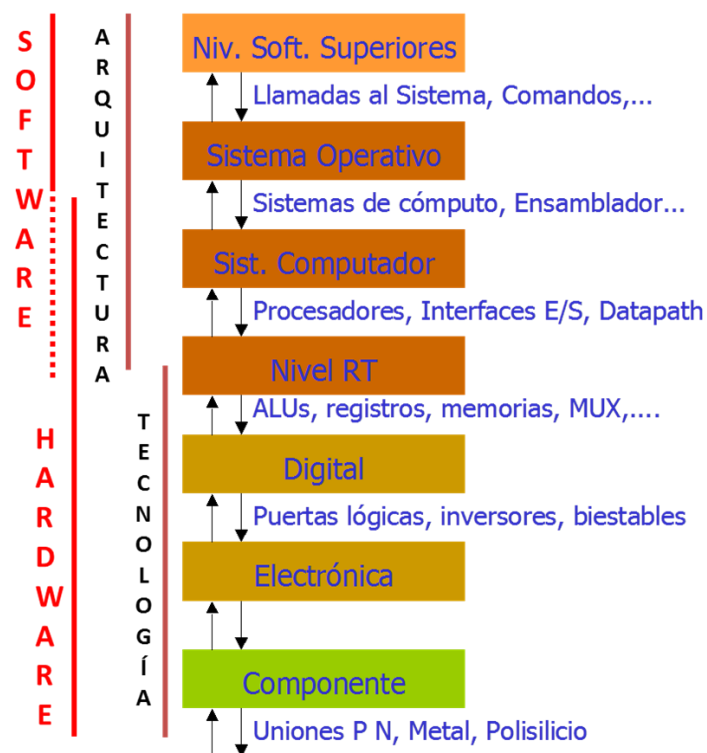


Figura 1. Jerarquía de niveles de abstracción de un computador. Fuente: Ortega, J., Anguita, M. y Prieto, A. (2005). *Arquitectura de Computadores*. Madrid: Thomson.

Además de los aspectos considerados para calificar y configurar un nivel, deben tenerse en cuenta otros que se pueden agrupar en los conceptos de **eficiencia** (prestaciones, costes...) y **diseño** (procedimientos disponibles, herramientas...).

La descripción jerárquica del computador presentada se ajusta a una arquitectura de tipo von Neumann, debiendo tenerse en cuenta que no es la única que existe como tampoco lo es esa descripción.

## Concepto de arquitectura del computador

En la figura 1. se pueden observar las clasificaciones de niveles entre **hardware** y **software** y entre las características de **arquitectura** y de **tecnología**.

A partir de la distribución del apartado anterior se puede completar el concepto de arquitectura de un computador, en función del **procesador**, del modo que aparece a continuación, derivándose además de él otra serie de definiciones.

- ▶ **Arquitectura del Computador:** «Conjunto de instrucciones recursos y características del procesador que son visibles para el software que se ejecuta en el mismo. Por lo tanto, la arquitectura determina el software que el procesador puede ejecutar directamente y define las especificaciones a las que debe ajustarse la microarquitectura» (Ortega et al., 2005).
- ▶ **Microarquitectura:** «Conjunto de recursos y métodos utilizados para satisfacer las especificaciones que establece la arquitectura. El término incluye tanto la forma en que se organizan los recursos como las técnicas empleadas para alcanzar los objetivos de costes y prestaciones planteados. La microarquitectura es la arquitectura concreta de un procesador y define las especificaciones para la implementación lógica» (Ortega et al., 2005).
- ▶ **Diseño o implementación lógica:** «Conjunto de circuitos lógicos empleados para satisfacer las especificaciones dictadas por la microarquitectura. Determina las especificaciones para la implementación física» (Ortega et al., 2005).

- ▶ **Implementación física:** «Realización de los circuitos lógicos mediante una tecnología determinada de circuitos integrados» (Ortega et al., 2005).

Por último, teniendo en cuenta el nivel de sistema operativo se puede ampliar aún más la definición diciendo que:

«La Arquitectura del Computador abarca las abstracciones que proporcionan las interfaces entre *hardware/software* y usuario/sistema, y la estructura y organización que permiten implementar dichas abstracciones proporcionando prestaciones a costes razonables en la ejecución de los programas del computador» (Ortega et al., 2005).

El **estudio** de Arquitectura de Computadores incluye los siguientes **elementos**:

- ▶ Lenguaje ensamblador y arquitectura concreta del procesador.
- ▶ Estructura y organización del computador.
- ▶ Sistema operativo.
- ▶ Evaluación de prestaciones (***benchmarking***).
- ▶ Alternativas y tendencias de evolución.

Los **objetivos** de ese estudio serían:

- ▶ Evaluar prestaciones y características del computador identificando fuentes de conflicto que limitasen la ejecución de las aplicaciones.
- ▶ Diseñar y/o configurar un sistema que cumpla los requisitos establecidos.

## 1.3. Evolución y prestaciones de las arquitecturas

La finalidad de este apartado es evaluar la interacción de cuatro elementos que han marcado y van a seguir marcando la evolución de la arquitectura de los



computadores. Estos elementos son la propia **arquitectura**, la **tecnología**, las **aplicaciones** o programas y el **mercado** (figura 2).

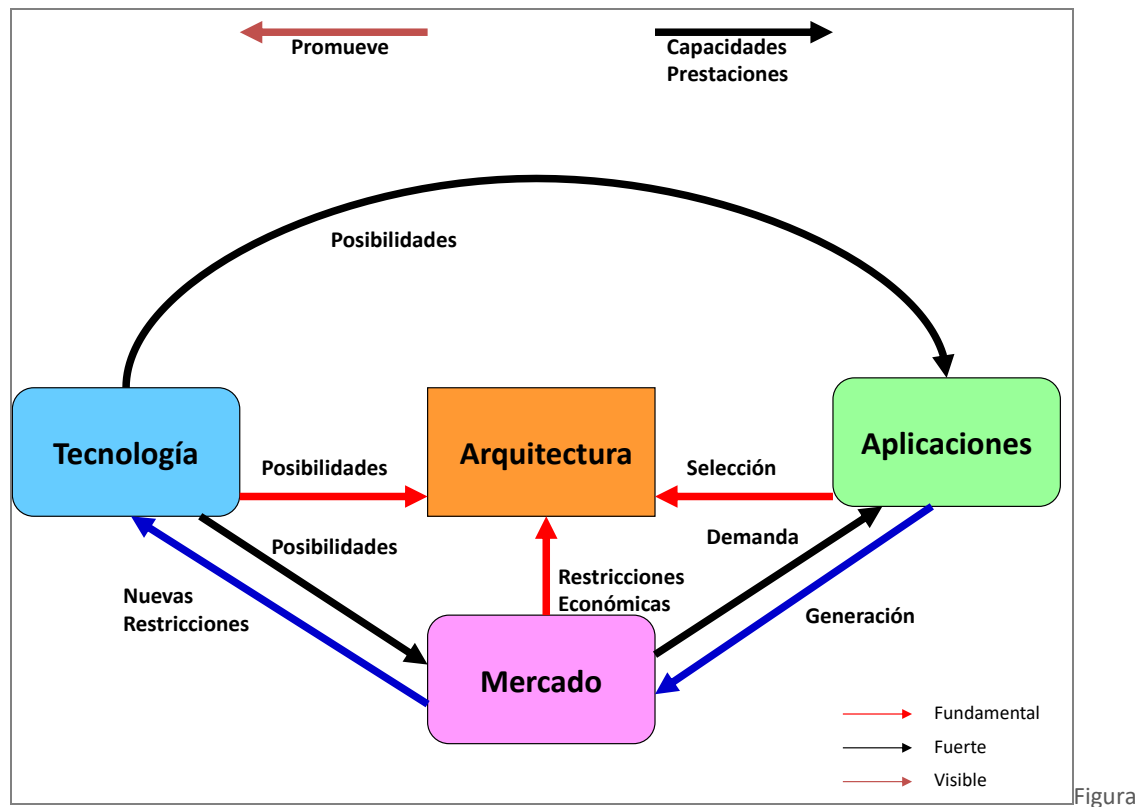
### Evaluación sencilla de prestaciones: tiempo de CPU de un programa

Utilizando este ejemplo cuyo fundamento se desarrollará en el tema *Evaluación de prestaciones de un computador* de esta asignatura, se presentan tres elementos que tienen una gran incidencia en las prestaciones de un computador, y cuya modificación y optimización redundará en una mejora directa de las características del mismo.

Estos tres elementos son:

- ▶ El **número de instrucciones de máquina del código ejecutado** (NI).
- ▶ El **número de ciclos por instrucción** (ciclos de reloj necesarios para ejecutar una instrucción) (CPI).
- ▶ El **periodo o frecuencia de reloj** del procesador (T, f).

A partir de este análisis se obtienen unas conclusiones claras sobre la influencia de la tecnología, el compilador y, sobre todo, la arquitectura en las prestaciones del computador.



2. Interacción Tecnología-Mercado-Aplicaciones-Arquitectura. Ortega, J., Anguita, M. y Prieto, A. (2005). *Arquitectura de Computadores*. Madrid: Thomson.

## Consecuencias de la evolución en la tecnología

En este punto se presentan distintas características de mejora tecnológica que tienen una influencia directa en las prestaciones de un computador, como son:

- ▶ La **densidad de integración** de transistores en los circuitos integrados o chips (CIs) (**Ley de Moore**).
- ▶ La **capacidad de almacenamiento** de las memorias semiconductoras.
- ▶ La **frecuencia máxima** de funcionamiento del procesador.

Se deben observar los diferentes efectos que puede tener la evolución prevista de estos elementos (figura 3) en el incremento y también limitación del rendimiento del computador.

## Consecuencias de la evolución de las aplicaciones y los mercados

En este apartado se tienen en cuenta la evolución de aplicaciones en función de las necesidades a resolver (mercado) y cómo estas van a condicionar el desarrollo de la arquitectura.

Se consideran aplicaciones del ámbito científico, de comunicación global (Internet, Google), de presentación multimedia, etc.

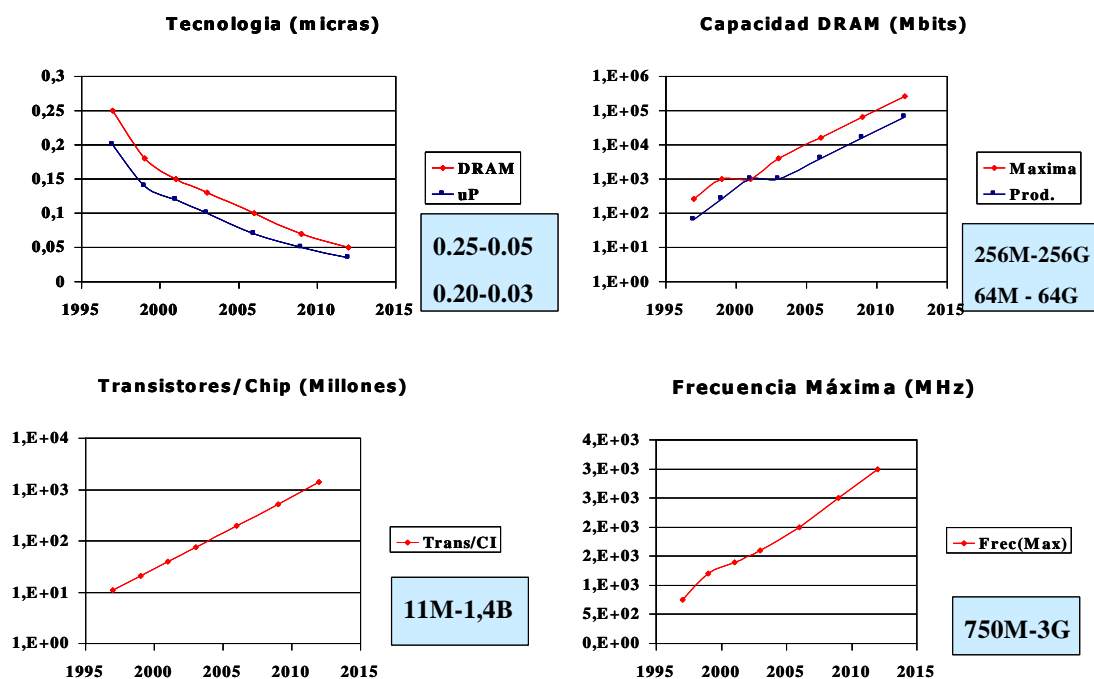


Figura 3. Estimaciones sobre la evolución de la tecnología de integración. **Fuente:** Semiconductor Industry Association (SIA). 1999.

## 1.4. Arquitecturas paralelas y niveles de paralelismo

Las mejoras en las prestaciones de los computadores debidas a su arquitectura han estado asociadas a dos aspectos clave: El **paralelismo**, en distintos ámbitos y de

diferentes tipos y la **localidad** de los datos, acercarlos al lugar donde se necesitan para que el acceso sea lo más rápido posible (**jerarquía de memoria**).

Como ya se ha comentado previamente, en esta asignatura nos vamos a centrar en las distintas formas de implementar el paralelismo en un computador y las arquitecturas a las que dan lugar.

#### Paralelismo en Arquitectura de Computadores:

Capacidad de una máquina de usar simultáneamente distintos recursos de computación para resolver un problema, con aumento de rendimiento (velocidad, capacidad de proceso, tiempo de ejecución).

#### Unidad funcional:

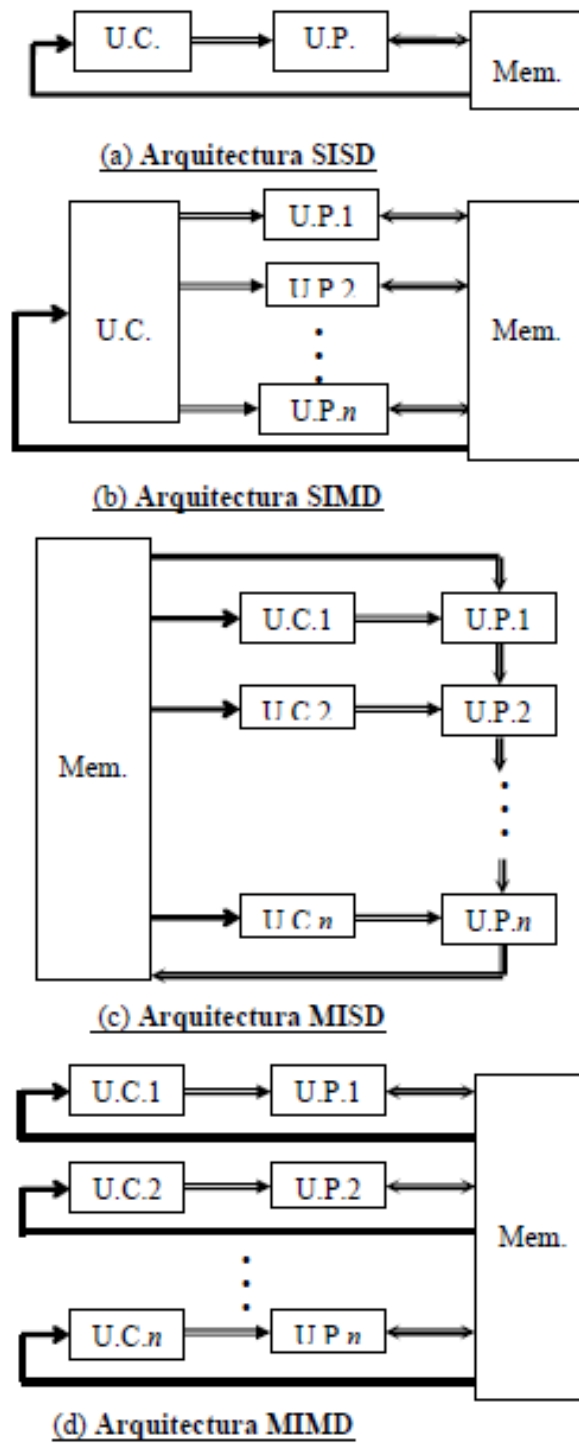
Cada parte de la máquina capaz de realizar acciones de forma independiente y simultánea al resto.

La implementación del paralelismo en arquitectura se ha realizado tradicionalmente siguiendo dos técnicas fundamentales:

- ▶ **Replicación de elementos:** Utilizar varias unidades funcionales, procesadores, módulos de memoria, registros y otros para distribuir el trabajo.
  - **Nivel de sistema:** multiprocesadores, controladores de DMA, procesadores de I/O.
  - **Nivel de procesador:** varias unidades funcionales (procesadores superescalares, VLIW, procesadores vectoriales).

- ▶ **Segmentación de cauce (*pipeline, pipelining*):** Cada elemento se divide en una serie de etapas (unidades funcionales) por las que van pasando los operandos o instrucciones al ser procesados. El funcionamiento independiente de cada etapa permite que se puedan ejecutar distintas instrucciones simultáneamente.
- **Diseño de procesadores** (paralelismo a nivel de instrucciones o ILP): procesadores segmentados (procesadores superescalares y VLIW, procesadores vectoriales)
- **Diseño de unidades de proceso:** sumadores segmentados, multiplicadores segmentados.

La **clasificación o taxonomía de Flynn** (1966) es una de las formas más empleadas y más duraderas de caracterizar las distintas configuraciones de paralelismo. Flynn divide los computadores en cuatro clases según trabajen con un flujo simple o múltiple de instrucciones (SI o MI) sobre un flujo simple o múltiple de datos (SD o MD). Con este criterio se obtienen **cuatro clases de computadores** (figura 4):



Flujo de instrucciones:... →  
 Flujo de datos:..... ↔  
 Microórdenes:..... →

Figura 4. Clasificación o taxonomía de Flynn (UC: Unidad de Control, UP: Unidad de Proceso, Mem: Memoria que contiene instrucciones y datos).

- ▶ Computadores **SISD**: Flujo simple de instrucciones, simple de datos (monoprocesador).
- ▶ Computadores **SIMD**: Flujo simple de instrucciones, múltiple de datos (procesadores vectoriales, matriciales).
- ▶ Computadores **MISD**: Flujo múltiple de instrucciones, simple de datos (no hay computadores que se ajusten a esta clase).
- ▶ Computadores **MIMD**: Flujo múltiple de instrucciones, múltiple de datos (multiprocesador, multicomputador).

Aunque se trata de una clasificación que lleva usándose más de 50 años, presenta varios **defectos** notables, no hay ninguna arquitectura que se ajuste al tipo MISD. Por otro lado, la clase MIMD engloba configuraciones muy diversas, lo que ha hecho que algunos autores desarrollen esta clase en **multiprocesadores** (mapa lógico de memoria compartido por todos los procesadores) y **multicomputadores** (mapa lógico de memoria distribuido y propio de cada procesador).

La clasificación de Flynn permite identificar además **dos tipos de paralelismo**:

- ▶ **Paralelismo de datos**: La misma función, instrucción, etc. se ejecuta en paralelo pero en cada una de esas ejecuciones se aplica sobre un conjunto de datos distinto (vectores, matrices...).
- ▶ **Paralelismo funcional**: Varias funciones, tareas, instrucciones, etc. (iguales o distintas) se ejecutan en paralelo.

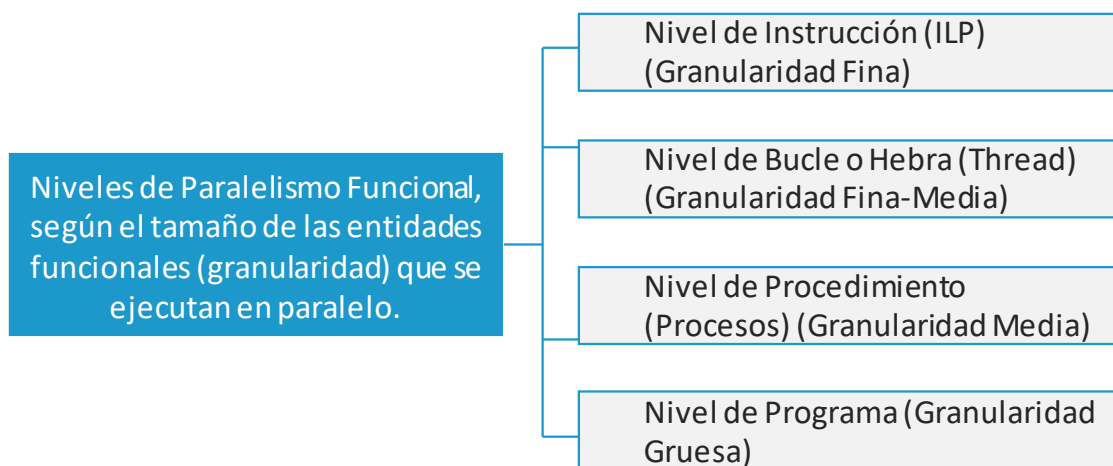


Figura 5. Niveles de Paralelismo Funcional, según el tamaño de las entidades funcionales (granularidad) que se ejecutan en paralelo.

A partir de la clasificación de Flynn se puede desarrollar un esquema de las distintas arquitecturas que nos encontraremos a lo largo del curso (Tabla 1).

Taxonomía de Flynn	Paralelismo Funcional	Paralelismo de Datos
SISD	Proc. Segmentados Proc. Superescalares Proc. VLIW	
SIMD		Proc. Vectoriales Proc. Matriciales   Proc. Sistólicos
MIMD	Memoria Compartida: Acceso Uniforme (SMPs), Acceso No Uniforme o Distribuida (NUMA, COMA) Paso de Mensajes (NORMA): Multicomputadores, Clusters	

Tabla 1. Arquitecturas según su tipo de paralelismo y su ubicación en la taxonomía de Flynn. Ortega, J., Anguita, M. y Prieto, A. (2005). *Arquitectura de Computadores*. Madrid: Thomson.



## 1.5. Referencias bibliográficas

Ortega, J., Anguita, M. y Prieto, A. (2005). *Arquitectura de computadores*. Madrid: Thomson.

## Clases de paralelismo

Stallings, W. (2006). *Organización y arquitectura de computadores*. Madrid: Pearson.

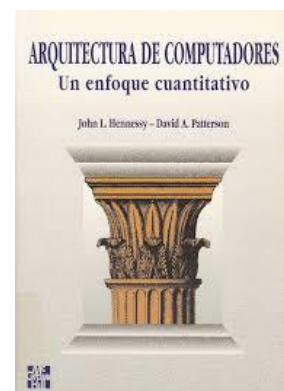


Conviene leer el apartado 18.1 (páginas 669 a 672) del libro de William Stallings para tener otra visión sobre las clases de paralelismo.

## Fundamentos del diseño de computadores

Hennessy, J. y Patterson, D. (2002). *Arquitectura de computadores. Un enfoque cuantitativo*. Madrid: McGraw-Hill.

Para ampliar algunos aspectos relacionados con los factores de evolución del computador es interesante revisar el primer capítulo: Fundamentos del diseño de computadores (páginas 3-34).



Accede al documento a través del aula virtual

## Evolución reciente de los microprocesadores



Se trata de un documental de hace unos años pero que proporciona una idea interesante sobre la evolución de los computadores en la historia y su vinculación con la sociedad.

---

Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

[http://www.youtube.com/watch?v=P8E6\\_JRnMgU](http://www.youtube.com/watch?v=P8E6_JRnMgU)

---

## Evolution Of AMD Processors 1975 – 2018

PCTechGaming. (5 de octubre de 2018). *Evolution Of AMD Processors 1975 - 2018* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=EIW0-CD0NPg>

Vídeo que muestra la evolución de los procesadores AMD desde 1975 hasta 2018.



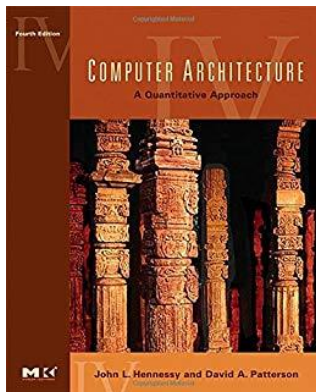
## Very High Speed Computing Systems

Flynn, M. (1966, diciembre). Very High Speed Computing Systems. *Proc. of IEEE*, 54(12), 1901-1909.

Por su interés histórico, resulta interesante revisar el artículo en el que Flynn presenta su taxonomía.

## Computer Architecture. A Quantitative Approach

Hennessy, J. y Patterson, D. (2012). Fundamentals of Computer Design. En J. Hennessy y D. Patterson, *Computer Architecture. A Quantitative Approach* (pp. 2-65). San Francisco: Morgan-Kaufman.



Para actualizar los conceptos tratados en este tema sería conveniente revisar el primer capítulo: *Fundamentals of Computer Design* (páginas 2-65).

Accede parcialmente al libro a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://books.google.es/books?id=57UIPoLt3tkC&printsec=frontcover>

1. El concepto de arquitectura del computador:
  - A. Incluye aspectos relativos a la estructura del computador.
  - B. Incluye aspectos relativos a la organización interna del computador.
  - C. Incluye aspectos relativos a la funcionalidad de los elementos del computador.
  - D. Las tres respuestas anteriores son correctas.
  
2. Por arquitectura abstracta de un computador se entiende...
  - A. Su descripción en términos de los componentes que lo integran.
  - B. Su descripción según la labor o funcionalidad de cada componente.
  - C. Su descripción en función de los flujos de control y datos entre sus componentes.
  - D. Ninguna de las tres respuestas anteriores es correcta.
  
3. El nivel de transferencia entre registros...
  - A. Se desarrolla exclusivamente en el interior del procesador.
  - B. Se rige por las normas del Álgebra de Boole.
  - C. Relaciona registros internos del procesador, posiciones de memoria principal, puertos de E/S, entre otros.
  - D. Las tres respuestas anteriores son correctas.
  
4. En la distribución en siete niveles jerárquicos del computador...
  - A. Se identifican cuatro niveles *software* y cinco *hardware*.
  - B. Se identifican tres niveles *software* y cuatro *hardware*.
  - C. Se identifican dos niveles *software* y cinco *hardware*.
  - D. Se identifican cinco niveles *software* y cuatro *hardware*.

5. El ámbito de estudio de Arquitectura de Computadores incluye:
- A. Los procedimientos de evaluación de prestaciones.
  - B. El sistema operativo.
  - C. El lenguaje máquina y la arquitectura concreta del procesador.
  - D. Todas las respuestas anteriores son ciertas.
6. La ley de Moore:
- A. Evalúa el rendimiento de un procesador medio.
  - B. Calcula el número de elementos funcionales que componen un computador.
  - C. Estima la evolución de la densidad de transistores en un circuito integrado.
  - D. Calcula el número de ciclos necesarios para ejecutar una instrucción.
7. En el cálculo del tiempo de procesador necesario para ejecutar un programa, intervienen:
- A. La frecuencia de reloj del procesador.
  - B. El número de instrucciones que integran el código ejecutado.
  - C. El número de ciclos necesarios para ejecutar una instrucción.
  - D. Las tres respuestas anteriores son correctas.
8. Respecto al efecto de la evolución de la tecnología en las prestaciones de un computador.
- A. El aumento de la densidad de integración de transistores en un chip puede limitar su velocidad de funcionamiento.
  - B. Está previsto que la frecuencia de reloj del procesador pueda crecer indefinidamente.
  - C. El número de ciclos necesarios para ejecutar una instrucción (CPI), depende fuertemente de la frecuencia de reloj del procesador.
  - D. Ninguna de las afirmaciones anteriores es cierta.

**9.** La taxonomía de Flynn:

- A. Clasifica los computadores según el número de unidades funcionales que los integran.
- B. Agrupa las arquitecturas en función del tamaño de sus unidades funcionales.
- C. Define una clasificación basada en los flujos de instrucciones y datos.
- D. Clasifica los computadores según su rendimiento.

**10.** Respecto a la clasificación de Flynn:

- A. No existen arquitecturas que se ajusten al tipo SIMD.
- B. El tipo MISD define las arquitecturas que se aprovechan del paralelismo de datos.
- C. El tipo MIMD incluye estructuras con varios procesadores siempre que compartan un mismo mapa de memoria.
- D. Ninguna de las afirmaciones anteriores es correcta.