

# SISTEMAS DE MULTIPROCESAMIENTO

## Tema 1 Introducción

5º Curso de Automática y Electrónica Industrial.

1

## Contenido Tema 1

- Aplicaciones
- Incremento de las prestaciones
- Clasificación de los ordenadores en función del paralelismo
- Evolución de los ordenadores de altas prestaciones
- Multiprocesadores y multicomputadores

2

## Aplicaciones con altas demandas de prestaciones

- **Demandas de velocidad de procesamiento**
  - (nos centramos en esto)
- **También demandas en cuanto a capacidad de almacenamiento**

4

## Aplicaciones con altas demandas de procesamiento.

- Múltiples campos de aplicación tanto en ciencias como en ingeniería.
- Destacan las aplicaciones de simulación de modelos complejos.
- Algunos ejemplos de aplicación:
  - Modelado de la evolución global del clima en periodos largos de tiempo.
  - La evolución de las galaxias.
  - La estructura atómica de los materiales.
  - La eficiencia de la combustión en motores.
  - El flujo del aire sobre la superficie de vehículos.
  - Resultados de impactos.
  - El comportamiento de dispositivos electrónicos microscópicos.

5

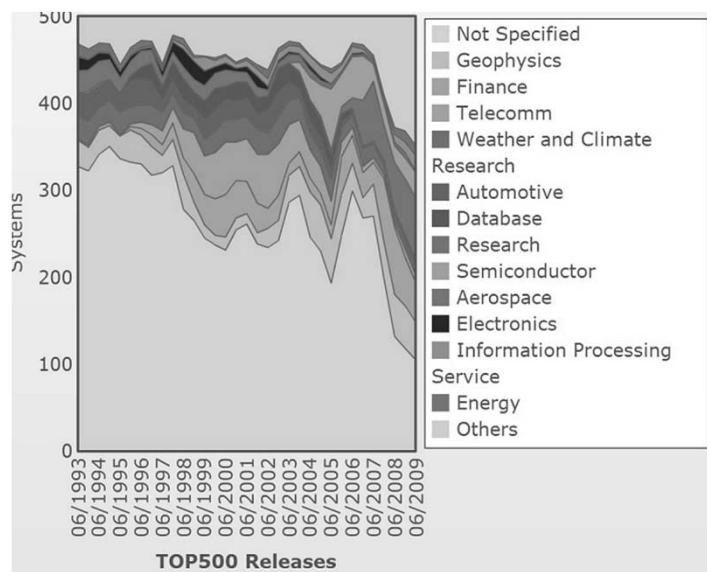
## Aplicaciones con altas demandas de procesamiento.

### En Ingeniería:

- Industrias del petróleo (modelado de reservas)
- Automoción (simulaciones de impactos, fricción, eficiencia en la combustión),
- Aeronáutica (análisis aerodinámico, eficiencia de los motores, estructura mecánica, compatibilidad electromagnética),
- Farmacéutica (modelado molecular)
- Electrónica (CAD).

6

### Areas de aplicación frente a nº de sistemas



7

## Dos posibilidades para incrementar la velocidad

- Aumentar la velocidad de un procesador
- Dedicar muchos procesadores a una tarea

9

## Ventajas de un sistema paralelo

- En cuanto al precio:

Coste de incrementar la velocidad de un procesador x 10 >> Utilizar 10 procesadores

- En cuanto al tiempo de desarrollo:

Para conseguir un procesador 10 veces más rápido que el actual más rápido es necesario esperar unos 5 años.

10

## Incremento de la velocidad de los microprocesadores

- La velocidad de los microprocesadores ha crecido de forma exponencial.

11

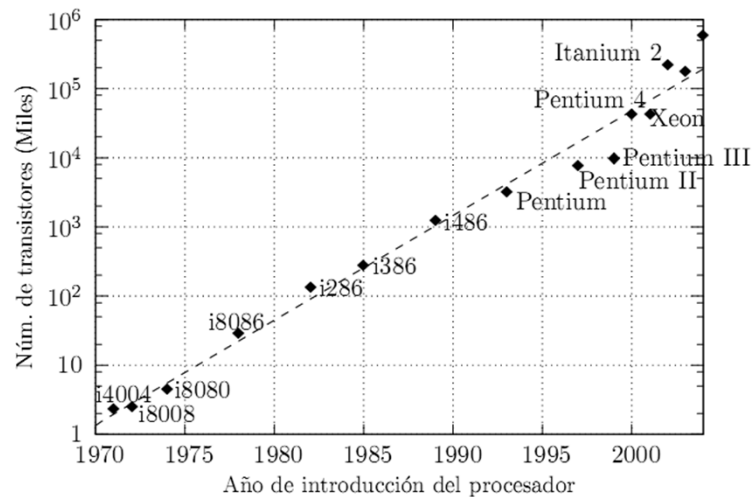
## Ley de Moore

- Predicción de Gordon Moore en 1965 (revisada en 1975).
- El número de transistores en un chip se duplica aproximadamente cada 2 años.
- Evidencia empírica
- Se incrementa la densidad de integración y la superficie del chip.

12

## Ley de Moore

- N° de componentes se duplica (aprox.) cada dos años.

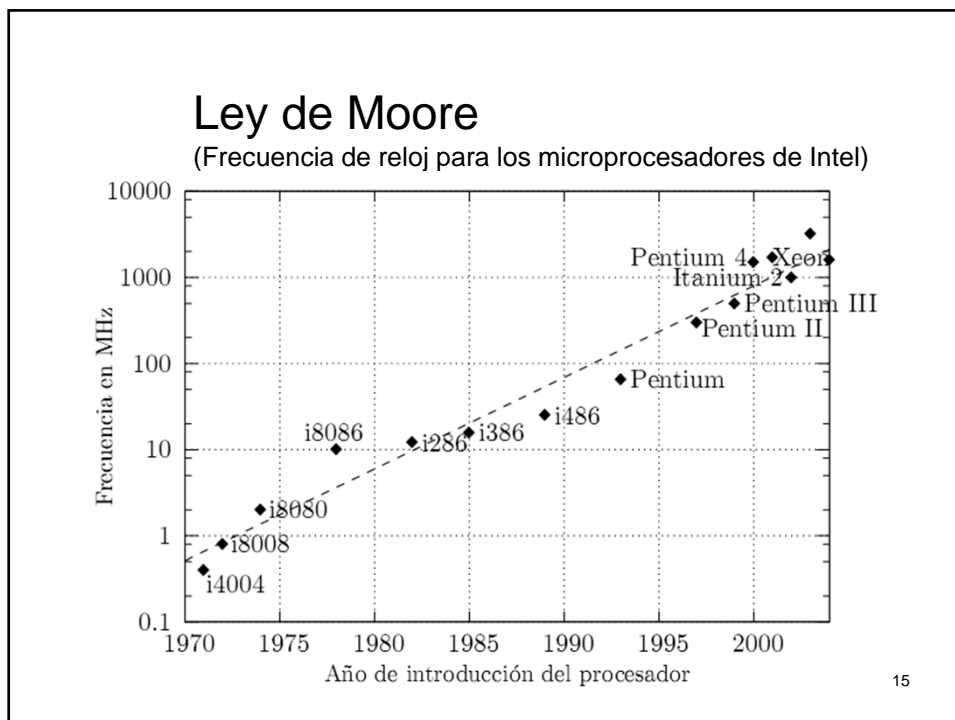


13

## Consecuencias de la ley de Moore

- El coste se reduce exponencialmente (aprox. a la mitad cada dos años).
  - Se reduce el coste de procesamiento y de almacenamiento.
  - Se produce la revolución de la informática.
- Incremento exponencial en la velocidad de procesamiento:
  - Incremento de la velocidad de reloj
  - Incremento del número de bits
  - Incremento del número de elementos de procesamiento.

14



### Ley de Moore

(Datos para los microprocesadores de Intel)

Microprocesador	Año de introducción	Transistores (Miles)	Frecuencia de reloj (MHz)
□ "4004"	1971	2.300	0.4
□ "8008"	1972	2.500	0.8
□ "8080"	1974	4.500	2
□ "8086"	1978	29.000	10
□ "Intel286"	1982	134.000	12
□ "Intel386"	1985	275.000	16
□ "Intel486"	1989	1200.000	25
□ "Pentium"	1993	3100.000	66
□ "Pentium II"	1997	7500.000	300
□ "Pentium III"	1999	9500.000	500
□ "Pentium 4"	2000	42000.000	1500
□ "Xeon"	2001	42000.000	1700
□ "Itanium"	2001	25000.000	800
□ "Itanium 2"	2002	220000.000	1000
□ "Pentium 4 Extreme Edition"	2003	178000.000	3200
□ "Itanium 2 (9MB cache)"	2004	592000.000	1600

Fuente: [www.intel.com](http://www.intel.com)

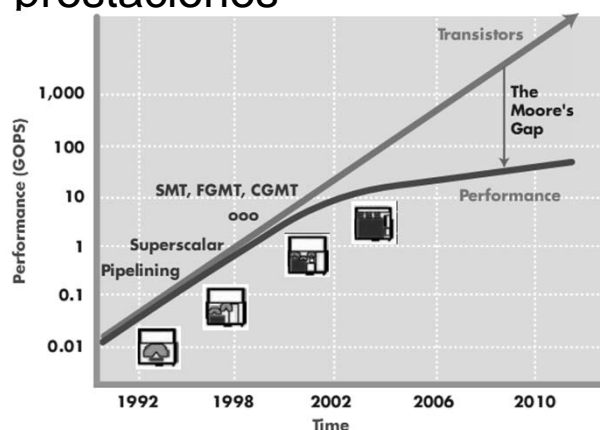
16

## Límites de la Ley de Moore

- Posible límite financiero: el coste de una nueva planta de fabricación de chips se duplica en cada generación.
- Las prestaciones de los procesadores se alejan del crecimiento exponencial desde el año 2002.

17

## Número de componentes frente a prestaciones



La ley de Moore crece suave hasta el 2002, año en el que la distancia entre el crecimiento de las prestaciones y el crecimiento en el número de transistores comienza a aumentar.

18



## Incremento exponencial de la velocidad de procesamiento de los ordenadores

- Mediante el uso de sistemas de procesamiento en paralelo

19



## Clasificación de los ordenadores

### Punto de vista del procesamiento en paralelo

22

## Clasificación de Flynn

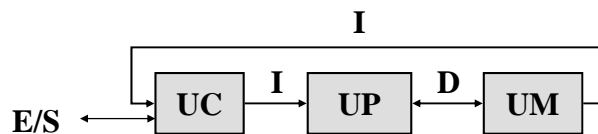
- Basado en el concepto de corrientes de instrucciones y de datos
  - SISD (*Single Instruction stream over a Single Data stream*): Única corriente de Instrucciones sobre una Única corriente de Datos.
  - SIMD (*Single Instruction stream over Multiple Data streams*): Única corriente de Instrucciones sobre Múltiples corrientes de Datos.
  - MISD (*Multiple Instruction streams over a Single Data stream*): Múltiples corrientes de Instrucciones sobre una Única corriente de Datos.
  - MIMD (*Multiple Instruction streams over Multiple Data stream*): Múltiples corrientes de Instrucciones sobre Múltiples corriente de Datos.
- Número de máquinas paralelas existentes
  - MIMD > SIMD > MISD

23

## SISD (Single Instruction Stream Over A Single Data Stream)

- Única corriente de Instrucciones sobre una Única corriente de Datos.
- Son las máquinas secuenciales convencionales.

**I : Corriente de Instrucciones UC : Unidad de Control**  
**D: Corriente de Datos UC : Unidad de Procesamiento**  
**UM: Unidad de Memoria E/S: Entrada y Salida**

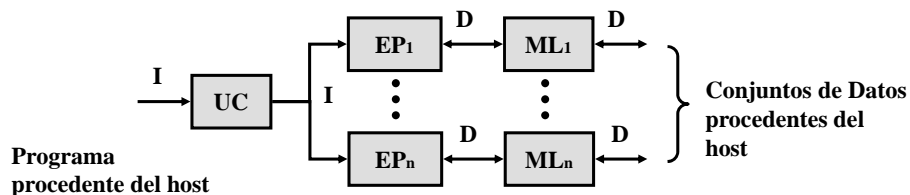


24

## SIMD (Single Instruction Stream Over Multiple Data Streams)

- Única corriente de Instrucciones sobre Múltiples corrientes de Datos.
  - Procesadores Matriciales (arrays) (SIMD)
  - Procesadores vectoriales
  - Arquitecturas de aplicación específica

**EP : Elemento Procesador ML : Memoria Local**

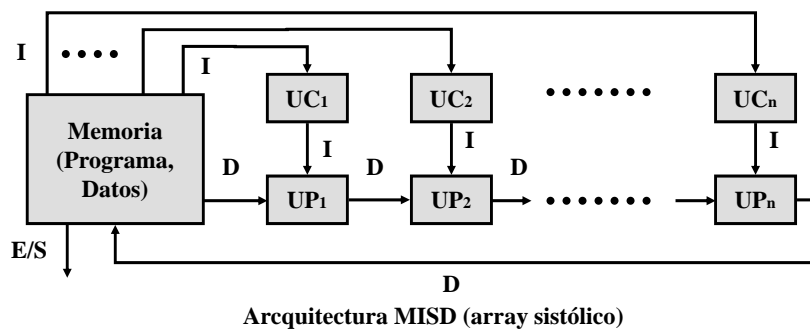


Arquitectura SIMD de memoria distribuida

25

## MISD (Multiple Instruction Streams Over A Single Data Streams)

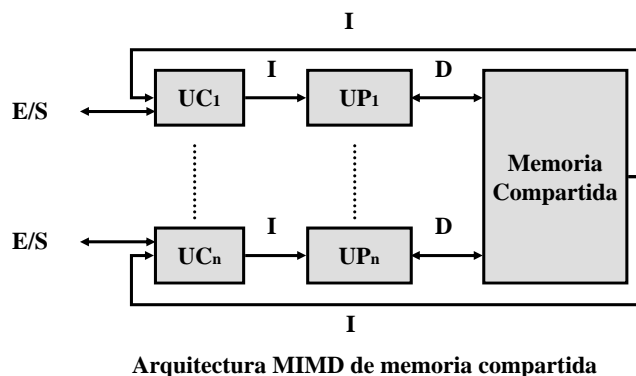
- Múltiples corrientes de Instrucciones sobre una única corriente de Datos
  - Array sistólico : arrays de procesadores (MISD)
  - Arquitecturas de aplicación específica



26

## MIMD (Multiple Instruction Streams Over Multiple Data Stream)

- MIMD
  - Ordenadores paralelos de propósito general



27

## Evolución de los sistemas de procesamiento en paralelo

- Reflejado en la historia de los sistemas de altas prestaciones.
- Asociación con distintos grados de paralelismo.
- Desde sistemas con pocos procesadores de tipo SIMD hasta sistemas con un número elevado de procesadores y de tipo MIMD.

29

## Evolución de los sistemas de procesamiento en paralelo.

- **Tiempos preliminares:** Desde 1972 hasta 1982.
- **Primer periodo:** Primera mitad de los años 80.
- **Segundo periodo:** Segunda mitad de los años 80.
- **Tercer periodo:** Primera mitad de los años 90.
- **Cuarto periodo:** Segunda mitad de los años 90.

30

## Evolución . . .

### Tiempos preliminares:

- Desde 1972 hasta 1982.
- Primeros ordenadores vectoriales
- Cray-1
  - Construido por Cray Research Inc. en 1976.
  - 160 MFlops (64 bits) y 8 Mbytes de memoria principal.
  - Costó 8 Millones de dólares.
  - 1 procesador con varias unidades funcionales vectoriales y escalares.
  - 8 Registros vectoriales de 64 × 64 bits.

31

## Evolución ...

### Primer periodo

- Primera mitad de los años 80.
- Ordenadores vectoriales de grandes prestaciones. Dos tipos:
- Arquitectura paralela:
  - Varios procesadores.
  - Memoria compartida.
  - Cray X-MP (Hasta: 4 proc.vec., 128 MB)
- Con muchas unidades aritméticas:
  - Fujitsu VP200.

32

## Evolución ... Segundo periodo

- Segunda mitad de los años 80.
- Dos líneas:
- Evolución de los ordenadores vectoriales:
  - Cray Y-MP, Fujitsu VP2600
- Máquinas masivamente paralelas (MPP):
  - Son de tipo SIMD
  - CM-2

33

## Evolución ... Tercer periodo

- Primera mitad de los años 90.
- Sistemas vectoriales multiprocesadores (*multivector processor*):
  - Memoria compartida: Cray J90
  - Memoria distribuida: VPP500
- Sistemas MPP:
  - SIMD: MP-2
  - MIMD: Multicomputadores, Intel Paragon, CM-5

34

## Evolución ... Cuarto periodo

- Segunda mitad de los años 90.
- Sistemas no escalables:
  - Multiprocesadores vectoriales de memoria compartida: Cray T90
  - Multiprocesadores vectoriales de memoria distribuida: Fujitsu VPP700
- Sistemas escalables:
  - Multiprocesadores: Cray T3D y Cray T3E
  - Multicomputadores MPP: IBM SP2.

35

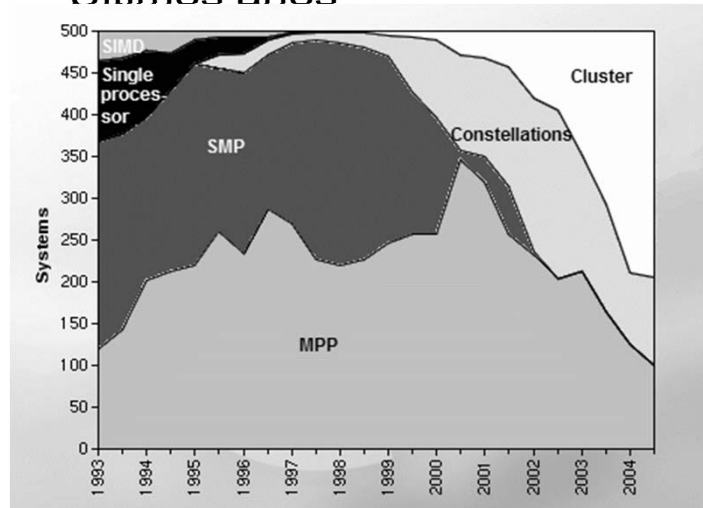
## Evolución ... Últimos años

- Información de la lista Top500
- Evolución hacia sistemas escalables
- Tres tipos de sistemas todos de tipo MIMD:
  - Cluster:
    - Multicomputador. Pocos Proc/nodo. MareNostrum
  - Constelaciones:
    - Multicomputador. N° Proc./nodo > N° nodos
  - MPP:
    - Sistemas masivamente paralelos.
    - Multicomputadores y Multiprocesadores de tipo NUMA con hardware para la coherencia de cachés.

36



## Evolución ... Últimos años



Nº de Sistemas por arquitecturas en la lista Top 500 de 2004.

37

## Contenido Tema 1

- Aplicaciones
- Incremento de las prestaciones
- Clasificación de los ordenadores en función del paralelismo
- Evolución de los ordenadores de altas prestaciones
- Multiprocesadores y multicomputadores

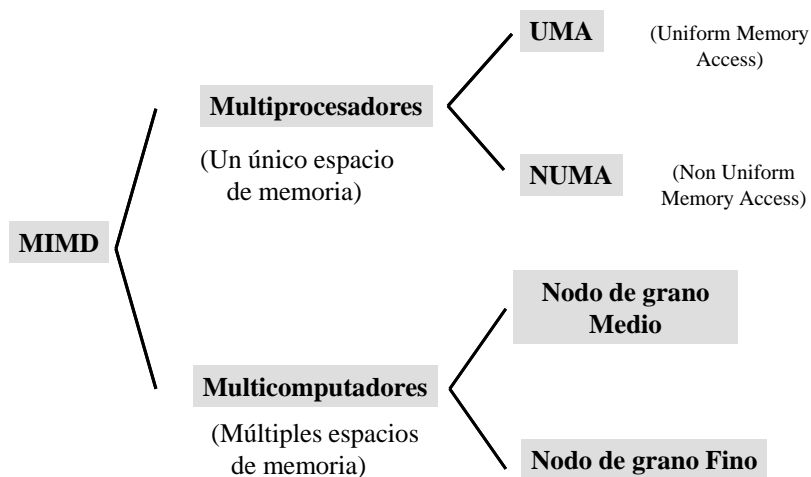
38

## Características sistemas MIMD

- Múltiples corrientes de Instrucciones sobre Múltiples corrientes de Datos.
- Múltiples tareas simultáneamente.
- Sincronización y comunicación entre las tareas en función del hardware y el software.
- Dos tipos:
  - Multiprocesadores: Un único espacio de memoria
  - Multicomputadores: Múltiples espacios de memoria

39

## Clasificación de los MIMD



40

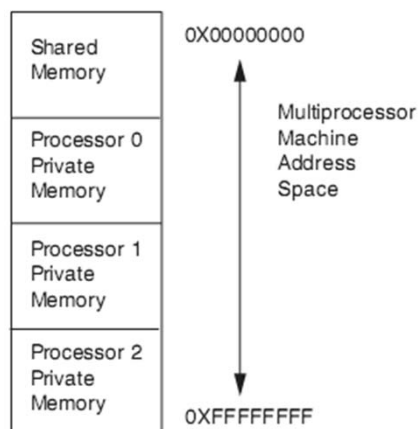
## Multiprocesadores Características

- Un único espacio de memoria.
- Comunicación y sincronización mediante variables globales en memoria compartida.
- Tipos:
  - UMA (*Uniform Memory Access*) Acceso Uniforme a Memoria
  - NUMA (*Non-Uniform Memory Access*) Acceso No Uniforme a Memoria.
  - COMA (*Cache Only Memory Access*) Acceso a Memoria de Sólo Caché.
  - CC-NUMA (*Cache Coherent Non-Uniform Memory Access*) Acceso No Uniforme a Memoria con Coherencia de Cachés.

41

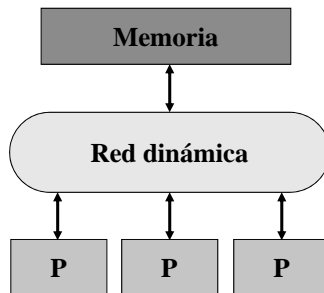
## Mapa de memoria multiprocesador

- Todos los procesadores acceden a la memoria compartida pero puede haber memoria local privada.



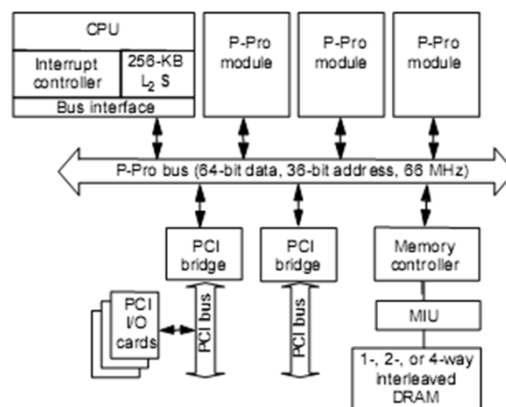
42

## Multiprocesadores UMA (Uniform Memory Access)



43

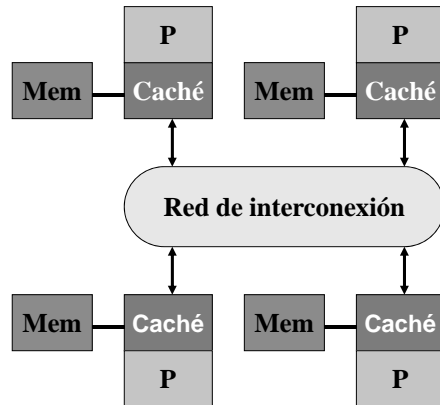
## Intel Pentium Pro Quad



44

## Multiprocesadores NUMA

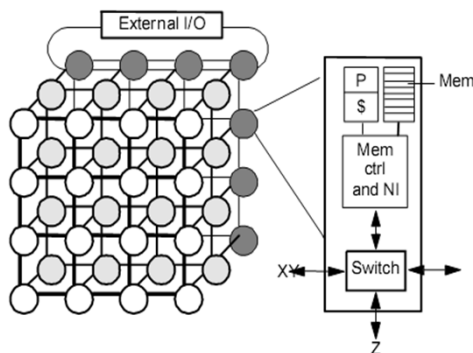
(Non-Uniform Memory Access)



*Este multiprocesador incluye hardware apropiado para acceso a memoria remota en un único espacio de memoria.*

45

## Cray T3E



46

## Multiprocesadores: Ventajas:

- Programación muy similar a la programación multihilo en un uniprocador.
- Para programas que utilizan mucho la memoria compartida el uso adecuado de los datos globales en la caché local puede acelerar mucho la ejecución.
- Los procesadores comerciales actuales suelen disponer de extensiones hardware que soportan la coherencia de memoria caché, abaratando la construcción de multiprocesadores de pocos procesadores.

47

## Multiprocesadores: Desventajas:

- Coste del hardware, especialmente del sistema de coherencia de memoria caché.
- Dificultad en la escalabilidad especialmente por la coherencia de la memoria caché.

48

## Multicomputadores Características

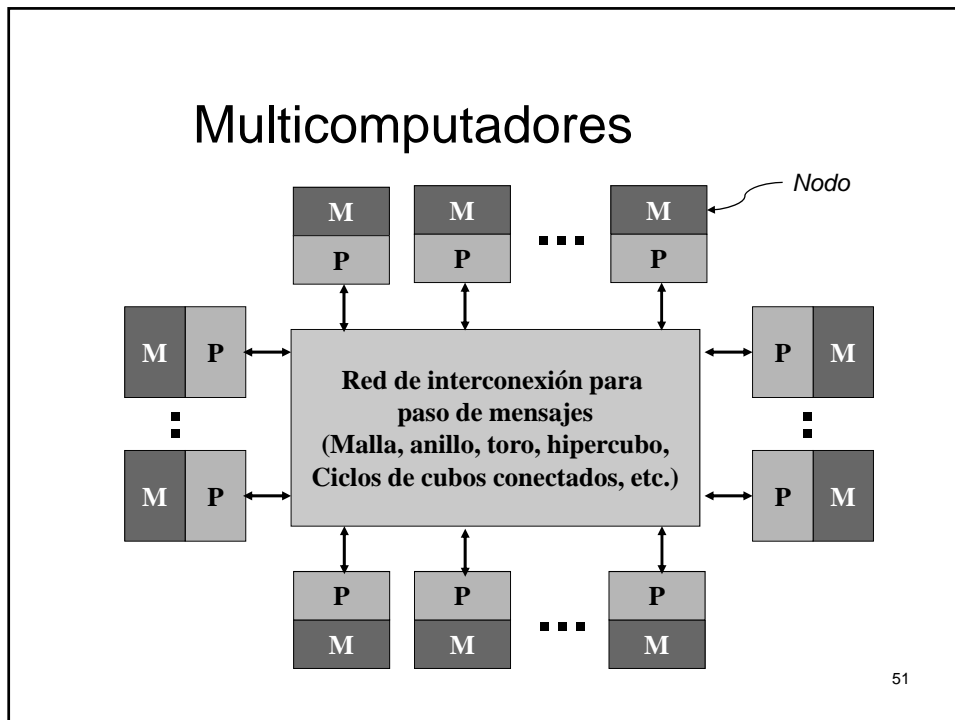
- Múltiples espacios de memoria.
- Sistemas con memoria distribuida
- Comunicación y sincronización mediante paso de mensajes.
- Clasificación en función del tamaño de grano:
  - Multicomputadores de grano grueso.
  - Multicomputadores de grano medio.
  - Multicomputadores de grano fino.

49

## Multicomputadores Características 2

- Sistemas MIMD formados por nodos.
- Nodo: Ordenador individual uniprocador de tipo SISD o SIMD o multiprocador cuya memoria compartida es la local del nodo.

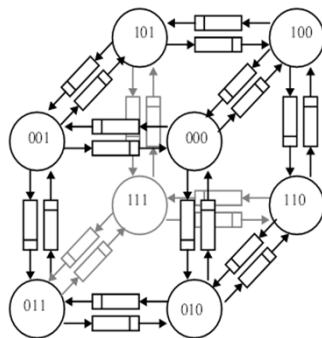
50



- ### Generaciones de Multicomputadores
- 1ª Generación (1983-87): Tecnología de procesadores en tarjeta. Paso de mensajes controlado por software. Redes en hipercubo. Multicomputadores de grano grueso: Caltech Cosmic, Intel iPSC/1, NCUBE.
  - 2ª Generación (1988-1992): Arquitecturas de red en malla, encaminadores de mensajes hardware. Entorno de programación para procesamiento distribuido de grano medio. Ejemplos: Intel Paragon, Parsys SuperNode 1000.
  - 3ª Generación (1993-1997): Incluyen el procesador y el control de la comunicación dentro del mismo chip VLSI permitiendo ejecuciones de grano fino. Ejemplos: MIT J-Machine, Caltech Mosaic.
- 52



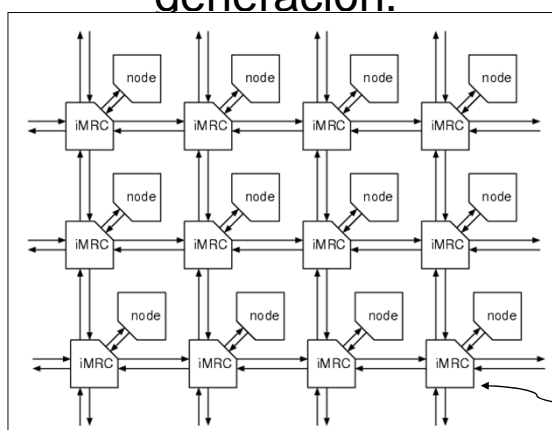
## Multicomputadores de 1ª generación. Estructura de paso de mensajes:



Cada nodo está conectado a sus vecinos en cada dimensión mediante "FIFOs". Para enviar un mensaje a un nodo no vecino los nodos intermedios deben reenviarlo.

53

## Multicomputadores de 2ª generación.



La comunicación la controlan los encaminadores sin que los mensajes deban entrar en los nodos intermedios.

*Paragon Mesh Routing Chips*

**Red de interconexiones del Intel Paragon.**

54