

Computación de Alta Performance
Curso 2009

ARQUITECTURAS PARALELAS

CONTENIDO

- Arquitecturas secuenciales y paralelas.
- Clasificación de Flynn.
- Modelo SIMD.
- GPUs.
- Modelo SISD.
- Modelo SIMD.
- Arquitectura MIMD
 - MIMD con memoria compartida.
 - MIMD con memoria distribuida.
- Factores que determinan la eficiencia
- Máquina paralela virtual.

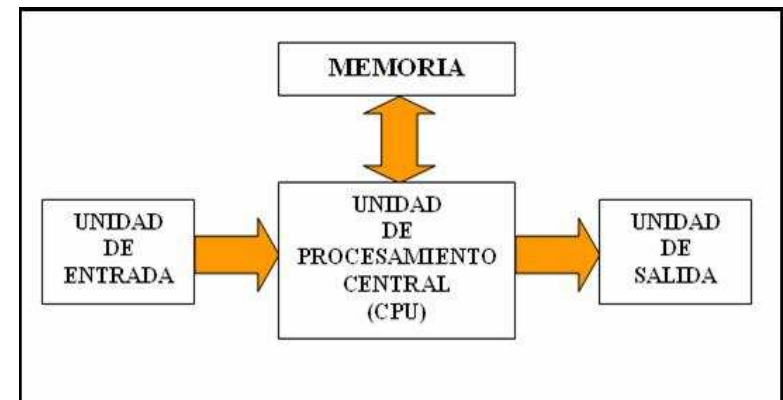
ARQUITECTURAS PARALELAS

- Modelo estándar de computación:
Arquitectura de Von Neumann.

- CPU única.
 - Ejecuta un programa (único).
 - Accede a memoria.
- Memoria única.
 - Operaciones read/write.
- Dispositivos.



Neumann János

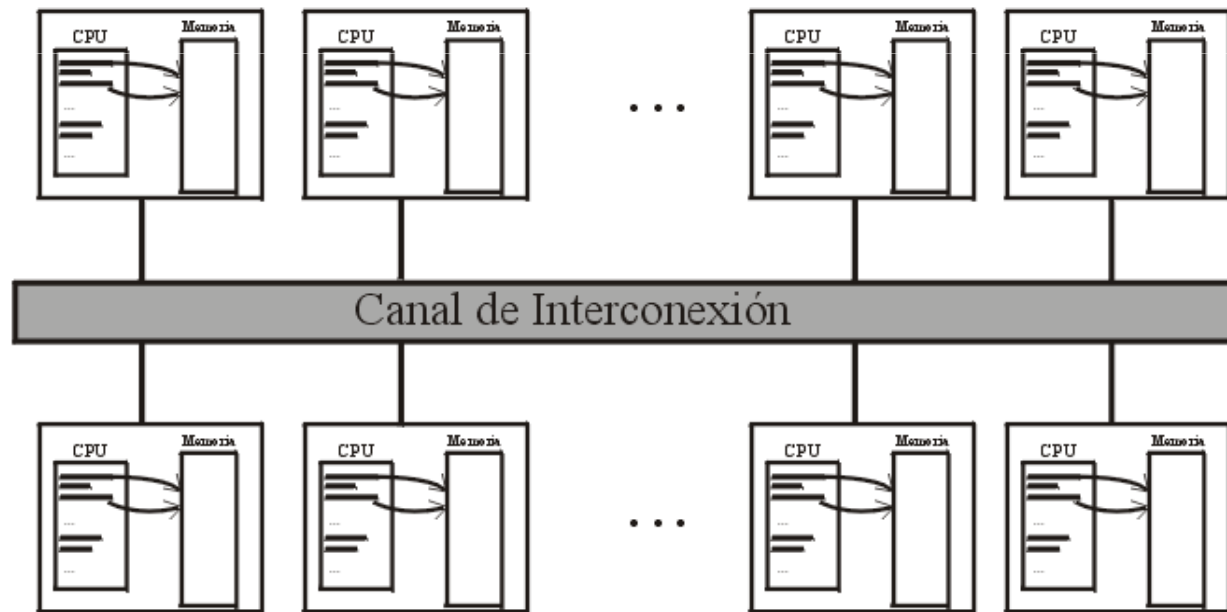


Arquitectura de Von Neumann

- Permitted the development of programming techniques (standard).

ARQUITECTURAS PARALELAS

- Extendiendo el modelo a la computación paralela, para lograr abstraer el hardware subyacente.
- Existen varias alternativas, genéricamente contempladas en el modelo del multicomputador:
 - Varios nodos (CPUs de Von Neumann).
 - Un mecanismo de interconexión entre los nodos.



Multicomputador de memoria distribuida.

ARQUITECTURAS PARALELAS

- Extendiendo el modelo a la computación paralela ...
- Otras alternativas
 - Computador masivamente paralelo.
 - Muchísimos nodos (sencillas CPUs estilo Von Neumann).
 - Topología específica para interconexión entre los nodos.
 - Multiprocesador de memoria compartida.
 - Nodos de Von Neumann.
 - Memoria única.
 - Cluster.
 - Multiprocesador que utiliza una red LAN como mecanismo de interconexión entre sus nodos.

CATEGORIZACIÓN DE FLYNN

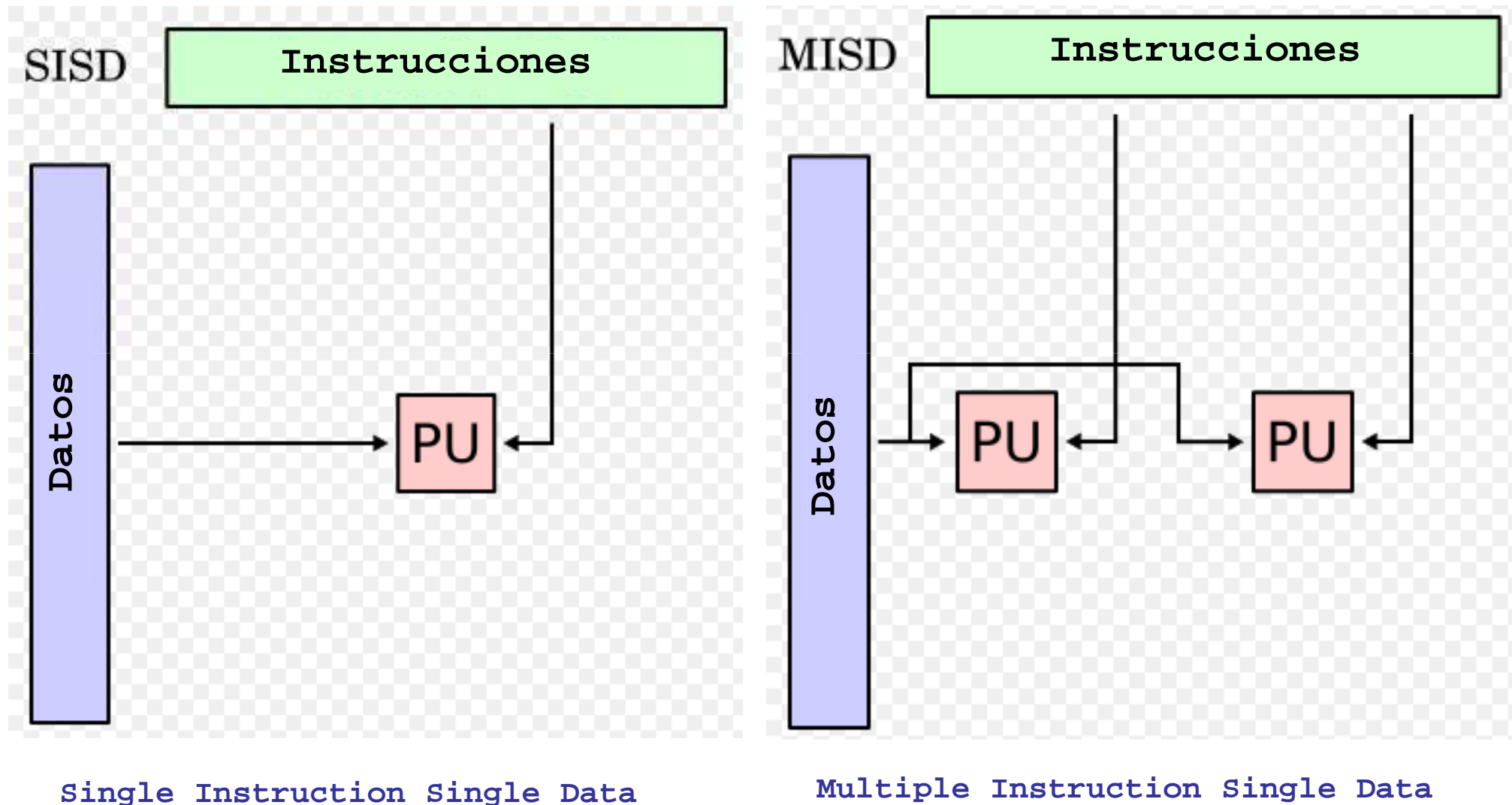
- Considera la manera de aplicación de las instrucciones y el manejo de los datos.

		Instrucciones	
		SI	MI
Datos	SD	SISD	(MISD)
	MD	SIMD	MIMD

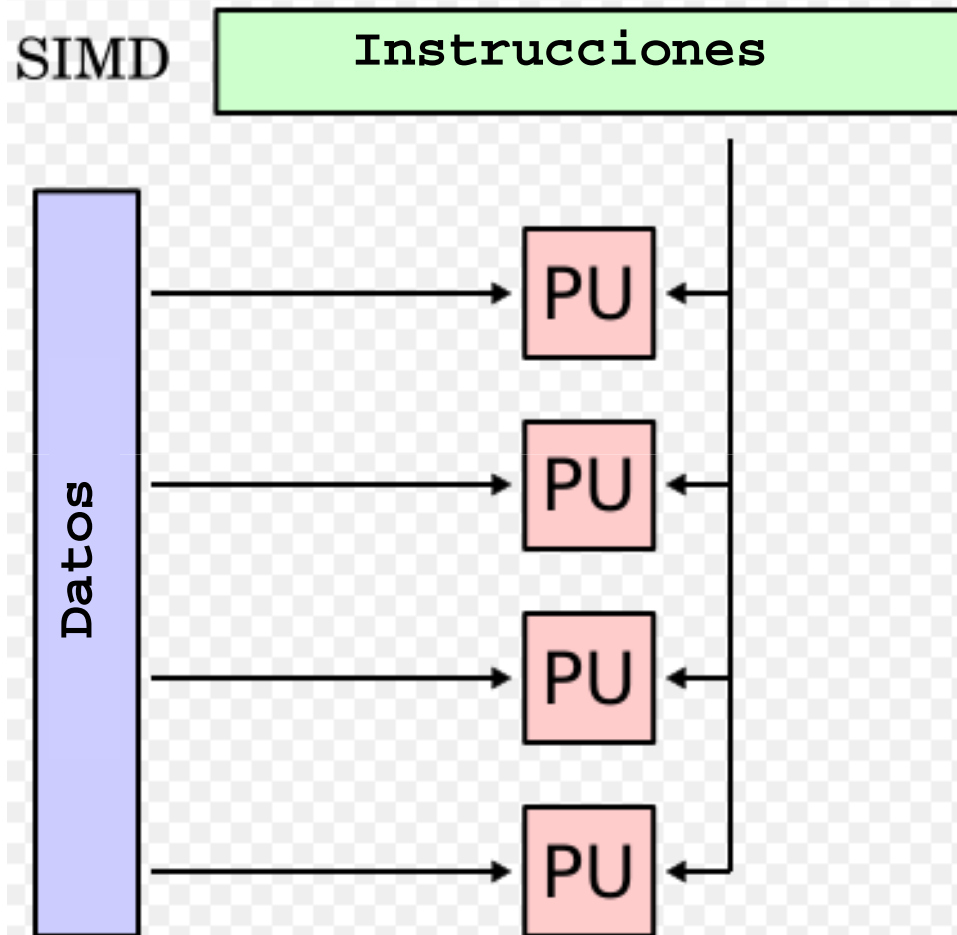
Taxonomía de Flynn (1966)

S=single, M=multi, I=Instrucción, D=Datos

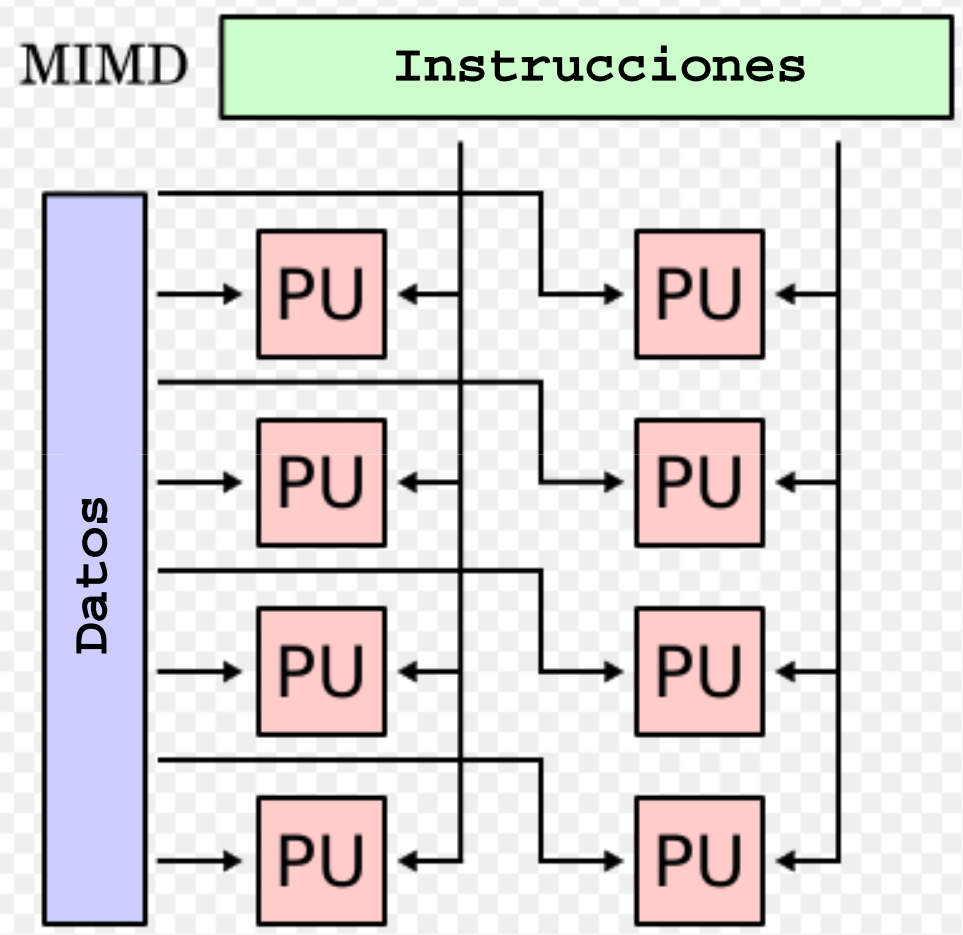
CATEGORIZACIÓN DE FLYNN



CATEGORIZACION DE FLYNN



Single Instruction Multiple Data



Multiple Instruction Multiple Data


CATEGORIZACION DE FLYNN

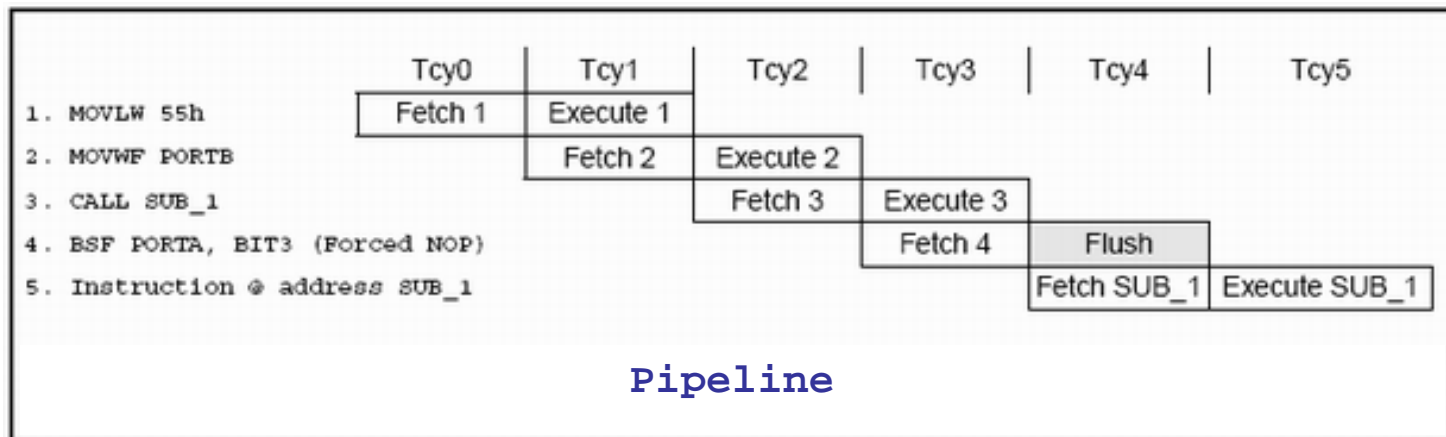
- **SISD** - Modelo convencional de Von Neumann.
- **SIMD** - Paralelismo de datos, computación vectorial.
- **MISD** - Arrays sistólicos.
- **MIMD** - Modelo general, varias implementaciones.
- El curso se enfocará en el modelo MIMD, utilizando procesadores de propósito general o multicomputadores.

MODELO SISD

- Máquina de Von Neumann
 - Un procesador capaz de realizar acciones secuencialmente, controladas por un programa el cual se encuentra almacenado en una memoria conectada al procesador.
 - Este hardware esta diseñado para dar soporte al procesamiento secuencial clásico, basado en el intercambio de datos entre memoria y registros del procesador, y la realización de operaciones aritméticas en ellos.

MODELO SISD

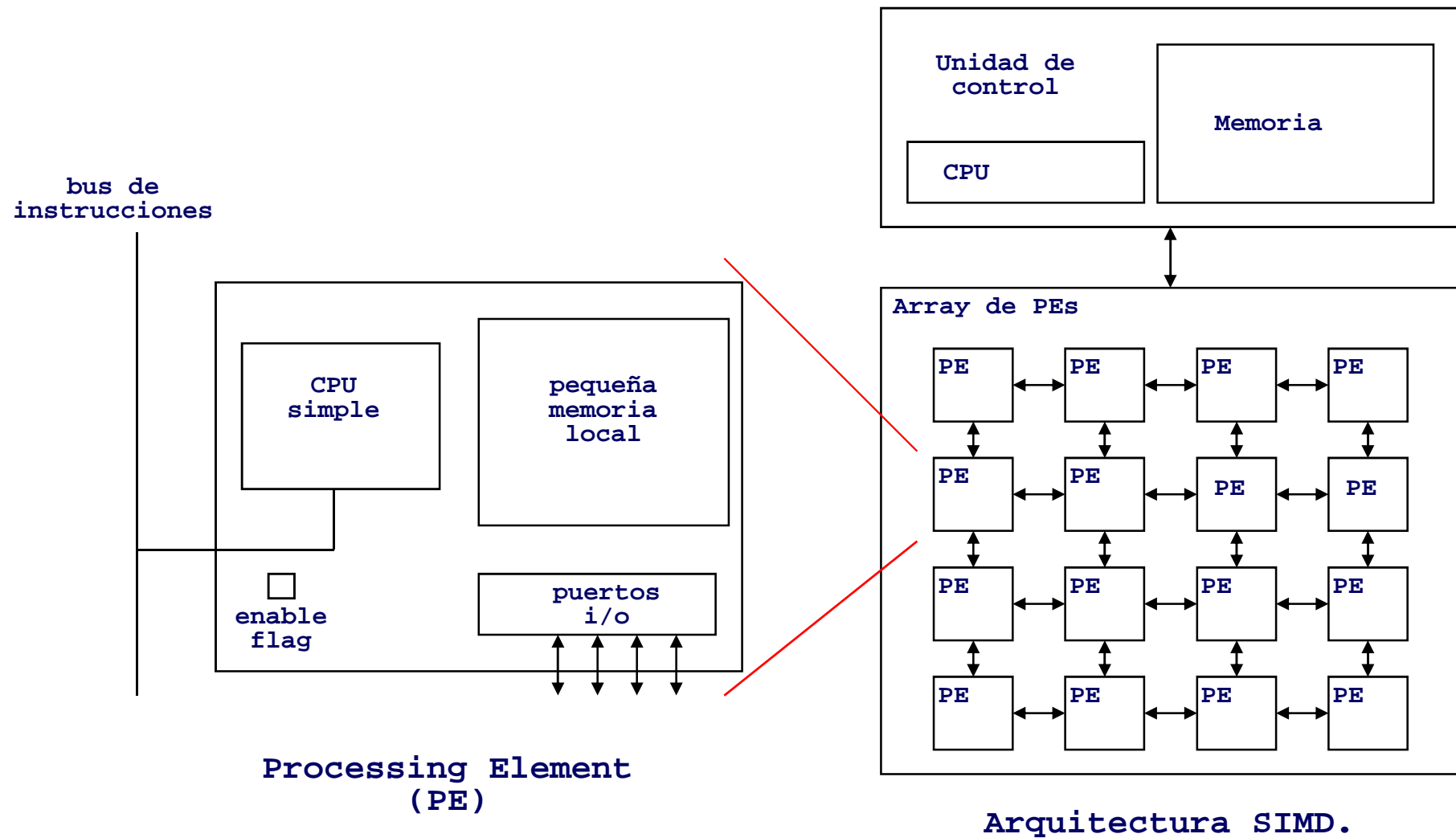
- Algunas máquinas secuenciales “modernas” no corresponden estrictamente al modelo SISD. 
- A partir de la introducción de los procesadores RISC se comenzó a utilizar varios conceptos de las arquitecturas paralelas, como pipelining, ejecución paralela de instrucciones no dependientes, prefetching de los datos, etc., para lograr un incremento en la cantidad de operaciones por ciclo de instrucción.



EL MODELO SISD NO FUE SUFICIENTE

- Los problemas crecieron, o surgió la necesidad de resolver nuevos problemas de grandes dimensiones (manejando enormes volúmenes de datos, mejorando la precisión de las grillas, etc.).
- Si bien las maquinas SISD mejoraron su performance
 - Arquitecturas CISC y RISC.
 - Compiladores optimizadores de código.
 - Procesadores acelerando ciclos de relojes, etc.
- Aún no fue suficiente, y se prevé que el ritmo de mejoramiento se desacelere (debido a limitaciones físicas).
- En este contexto se desarrollaron los computadores paralelos.

MODELO SIMD



MODELO SIMD

- Ún unico programa controla los procesadores.
- Útil en aplicaciones uniformes
 - Procesamiento de imágenes.
 - Multimedia.
 - Aplicaciones numéricas sobre grillas.
- Su aplicabilidad está limitada por las comunicaciones entre procesadores.
 - La topología de interconexión es fija.
- Los elementos de procesamiento tienen capacidad de cómputo limitada (1 bit a 8 bits), por lo que se pueden colocar una gran cantidad por chip (e.g. CM-2 con 64k PEs).
- Fueron los primeros multiprocesadores difundidos comercialmente (en la década de 1980)

MODELO SIMD

- Ejemplos comerciales
 - Cray X-MP (computador más potente entre 1983–1985)
 - Connection Machine (CM-2, CM-200, década de 1980).
 - MasPar MP2 (inicios de la década de 1990).



CRAY X-MP/24



Connection Machine CM-2

GPUs

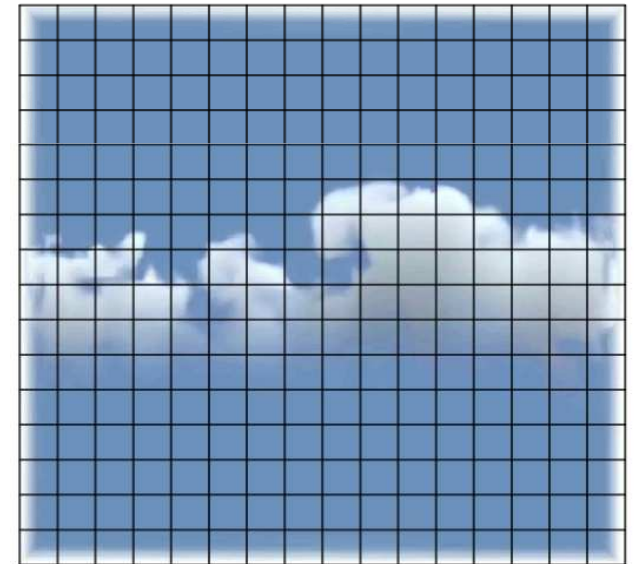


- GPU = Graphics Processing Units.
- Resurrección de la arquitectura SIMD.
- Motivada por la industria de los juegos y la televisión digital.
- Tarjetas de video
 - Programables
 - Lenguaje CG, CUDA.
 - Interfases OpenGL, DirectX.
 - Paralelas
 - La misma "función" CG se aplica a muchos pixels al mismo tiempo.



GPUs

- La evolución de su performance no respeta la ley de Moore
 - Escalabilidad horizontal y vertical simultanea.
- Las aplicaciones de imagenes son "embarrassingly parallel"
- Detalle:
 - Una "imagen" es una "matriz".
- Consecuencia:
 - Muy eficientes para calculo científico.



PARALLEL PROCESSING WITH CUDA

http://www.nvidia.com/docs/IO/55972/220401_Reprint.pdf

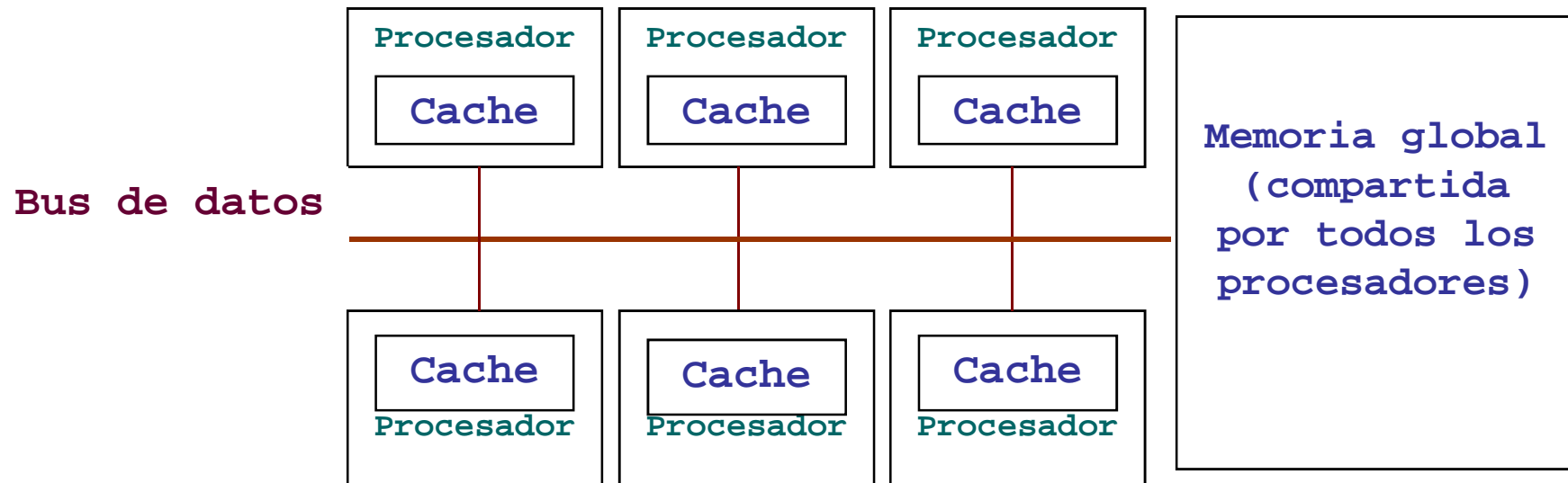
MODELO MISD

- Varias unidades funcionales ejecutan diferentes operaciones sobre el mismo conjunto de datos.
- Las arquitecturas de tipo pipeline pertenecen a esta clasificación
 - aunque no puramente, ya que pueden modificar los datos sobre los que operan.
 - Systolic arrays, FPGA celulares.
- También pertenecen los computadores tolerantes a fallos que utilizan ejecución redundante para detectar y enmascarar errores.
- No existen otras implementaciones específicas.
- Los modelos MIMD y SIMD son más apropiados para la aplicación del paralelismo tanto a nivel de datos como de control.

ARQUITECTURA MIMD

- Consistieron en el “siguiente paso” en la evolución de las arquitecturas paralelas.
 - Fueron lentamente desplazando al modelo SIMD.
- A diferencia de los modelos SISD y MISD, las computadoras MIMD pueden trabajar asincrónicamente (los procesadores tienen la capacidad de funcionamiento semi-autónomo).
- Existen dos tipos de computadores SIMD, de acuerdo al mecanismo utilizado para comunicación y sincronización:
 - MIMD de memoria compartida (fuertemente acopladas).
 - MIMD de memoria distribuída (poco acopladas).

MIMD CON MEMORIA COMPARTIDA



Arquitectura MIMD con memoria compartida.

- Procesadores autónomos, trabajan asincrónicamente.
- Comunicación entre procesadores a través del recurso compartido.
 - Comunicación y sincronización se realiza en forma **explícita**.
 - Emisor escribe y receptor lee de la memoria global.

MIMD CON MEMORIA COMPARTIDA

- Fáciles de construir.
 - SO convencionales de los SISD son portables.
- Buena solución para procesamiento transaccional (sistemas multiusuario, etc.)
- Limitación: confiabilidad y escalabilidad.
 - Un fallo de memoria de algún componente puede causar un fallo total del sistema.
- Incrementar el número de procesadores puede llevar a problemas en el acceso a memoria.
 - Caso de supercomputadores Silicon Graphics).
- El bus (cuello de botella) limita la escalabilidad a un máximo de pocas decenas de procesadores.
 - Caches locales introducen problema de "cache coherence".

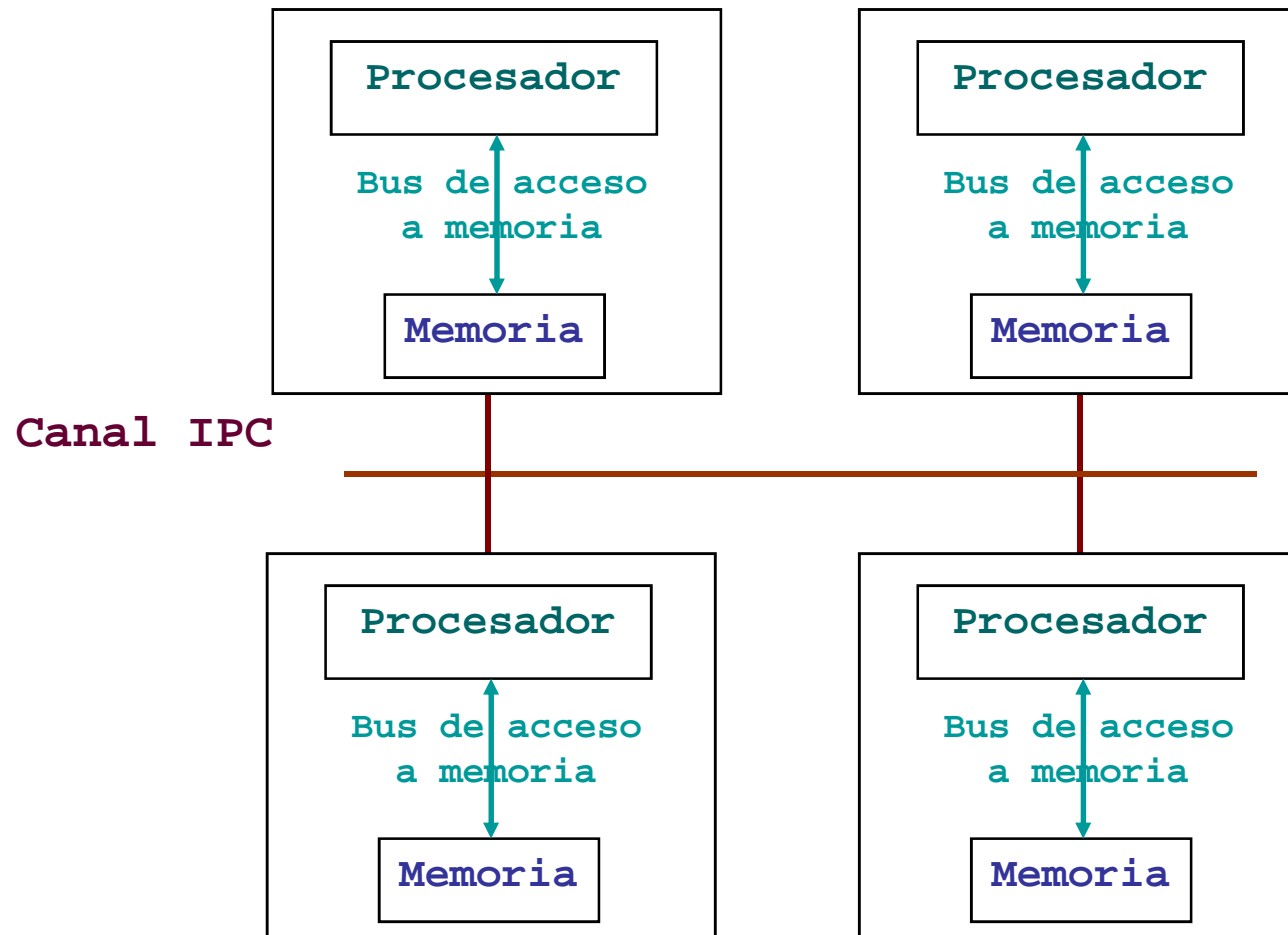
MIMD CON MEMORIA COMPARTIDA

- Ejemplos:
 - Encore MULTIMAX
 - Inicios de la década de 1990, hasta 20 procesadores.
 - Sequent Symmetry.
 - Década de 1990, de 10 a 30 procesadores.
 - Sun SPARCcenter 2000.
 - Década de 1990, escalable hasta 20 procesadores.
 - Sun-4d (d por *dragon*, nombre código del SPARCcenter 2000).
 - Su arquitectura será presentada en la próxima clase.

MIMD CON MEMORIA COMPARTIDA

- Mecanismos para compartir los datos.
- UMA = Uniform Memory Access
 - Acceso uniforme (todos los procesadores acceden a la memoria en el mismo tiempo).
 - Multiprocesadores simétricos (SMP).
 - Pocos procesadores (32, 64, 128, por problemas de ancho de banda del canal de acceso).
- NUMA = Non-Uniform Memory Access.
 - Colección de memorias separadas que forman un espacio de memoria direccionable.
 - Algunos accesos a memoria son más rápidos que otros, como consecuencia de la disposición física de las memorias (distribuidas físicamente).
 - Multiprocesadores masivamente paralelos (MPP).

MIMD CON MEMORIA DISTRIBUIDA



Arquitectura MIMD con memoria distribuida.

MIMD CON MEMORIA DISTRIBUIDA

- No existe el concepto de memoria global.
- Comunicación y sincronización:
 - Mecanismos explícitos de IPC (mensajes) sobre la red (en escenario óptimo, red de alta velocidad).
 - Tiene mayor costo que en MIMD de memoria compartida.
- Las comunicaciones pueden ser cuellos de botella.
 - Influye la topología de conexión.
- Arquitectura escalable para aplicaciones apropiadas para esta topología
 - Decenas de miles de procesadores.
- Ventajas respecto a MIMD de memoria compartida
 - Fácilmente escalable.
 - Alta disponibilidad (el fallo de una CPU individual no afecta a todo el sistema)

MIMD CON MEMORIA DISTRIBUIDA

- Ejemplos comerciales

- Connection Machine CM-5 (1991, 16k procesadores).
- IBM SP (IBM Scalable POWER parallel)
 - Incluye tecnología High Performance Switch (HPS) para comunicación entre nodos.
 - 1991: SP1; 1993: SP2, 1996: POWER2 Super Chip.
 - En 1999 incorporan procesadores POWER3, en 2001 POWER4 y en 2004 POWER5.
- Intel Paragon (1992: 2048 procesadores, luego 4000).
- Cray.
 - Luego de fusión con SGI: Scalable Node SN1, SN2.
 - T3E, 1997, hasta 2048 procesadores.

IBM SP/2

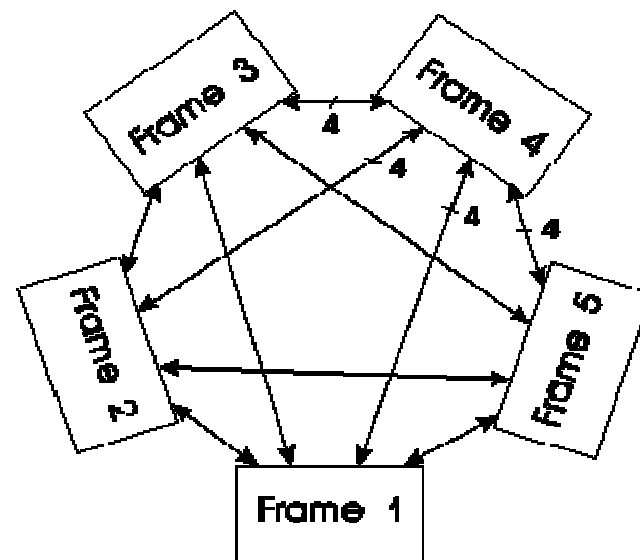
- Uno o más SP (Scalable POWER) frames.
 - SP: Basado en RS/6000.
 - 2 a 16 máquinas por frame.
 - High Performance Switch.

14	16
13	14
11	12
9	10
7	8
5	6
3	4
1	2



HIGH PERFORMANCE SWITCH

- Conexión bi-direccional todos con todos.
 - Packet-switched network (versus circuit-switched).
- Ancho de banda: 150 MB.
- Tiempo de latencia: 500 ns.
- Instalaciones en Uruguay:
 - BPS, DGI, UTE, IBM.



SMP y MPP

- **SMP: Multiprocesamiento simétrico**
 - Paralelismo sobre memoria compartida.
 - Modelo SIMD y modelo MIMD UMA.
 - Primera implementación en 1961.
 - Dominante hasta mediados de la década de 1990.
 - En 2006, aparecen los PCs dual-core.
- **MPP: procesamiento paralelo masivo**
 - Sistema con muchas (decenas, cientos) unidades de procesamiento (ALUs, procesadores).
 - Unidades integradas en una única arquitectura.
 - Dominaron el espectro de HPC hasta los inicios del 2000.

CONECTIVIDAD ENTRE PROCESADORES

- **ESTÁTICA**
 - Caminos prefijados entre procesadores.
 - Usualmente canales de comunicación P2P entre procesadores.
- **DINÁMICA**
 - Los caminos se determinan dinámicamente.
 - Se implementa a través de switches.
 - Simplifica la programación al evitar problemas de comunicación.
 - Garantiza igualdad de latencia para comunicaciones entre distintos procesadores a una distancia fija.
 - Permite comunicaciones “all to all”.
 - Hasta el 2000, era una tecnología emergente; hoy ya esta consolidada.
 - Generan topologías fácilmente escalables.

FACTORES QUE DETERMINAN LA EFICIENCIA

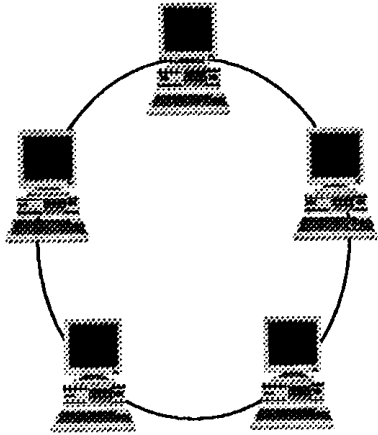
- Ancho de banda
 - Número de bits capaces de transmitirse por unidad de tiempo.
- Latencia de la red
 - Tiempo que toma a un mensaje transmitirse a través de la red.
- Latencia de las comunicaciones
 - Incluye tiempos de trabajo del software y retardo de la interfaz.
- Latencia del mensaje
 - Tiempo que toma enviar un mensaje de longitud cero.
- Valencia de un nodo
 - Número de canales convergentes a un nodo.
- Diámetro de la red
 - Número mínimo de saltos entre los nodos más alejados.
 - Permite calcular el peor caso de retardo de un mensaje.
- Largo máximo de un tramo de comunicación.

FACTORES QUE DETERMINAN LA EFICIENCIA

- Ancho de bisección
 - Número mínimo de enlaces que en caso de no existir la red se separaría en dos componentes conexas.
- Costo
 - Cantidad de enlaces de comunicación.
- CONFIGURACIÓN ÓPTIMA
 - Ancho de banda grande.
 - Latencias (de red, comunicación y mensaje) bajas.
 - Diámetro de la red reducido.
 - Ancho de bisección grande.
 - Valencia constante e independiente del tamaño de la red.
 - Largo máximo de tramo reducido, constante e independiente del tamaño de la red.
 - Costo mínimo.

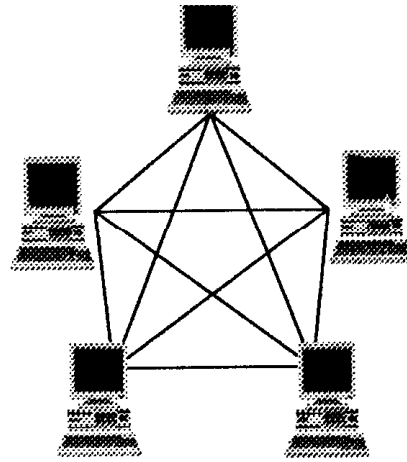
CONECTIVIDAD ENTRE PROCESADORES

Modelos



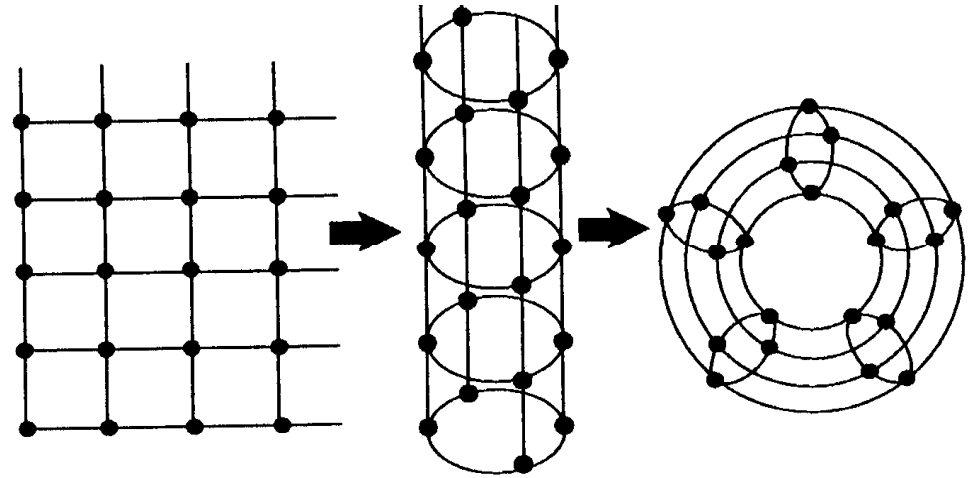
RING

Anillo



STAR

Estrella



2D

CYLINDER

TORUS

Topologías geométricas
(mallas)

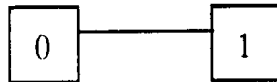
CONECTIVIDAD ENTRE PROCESADORES

Modelos

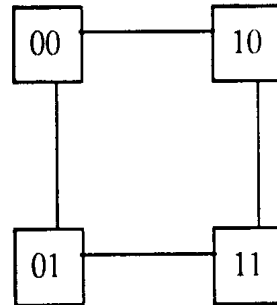
0-D



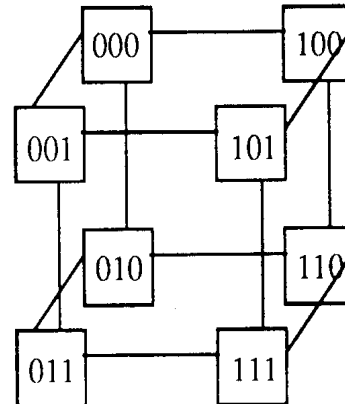
1-D



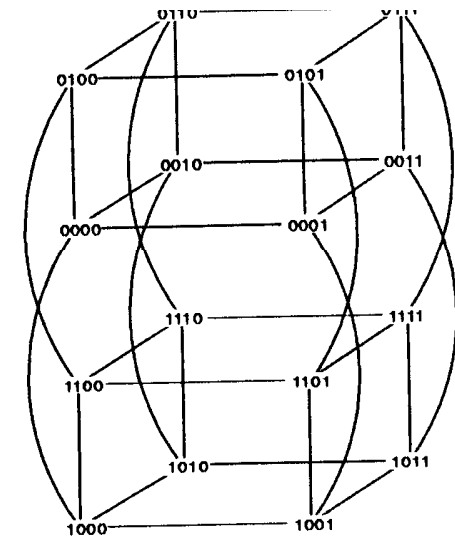
2-D



3-D



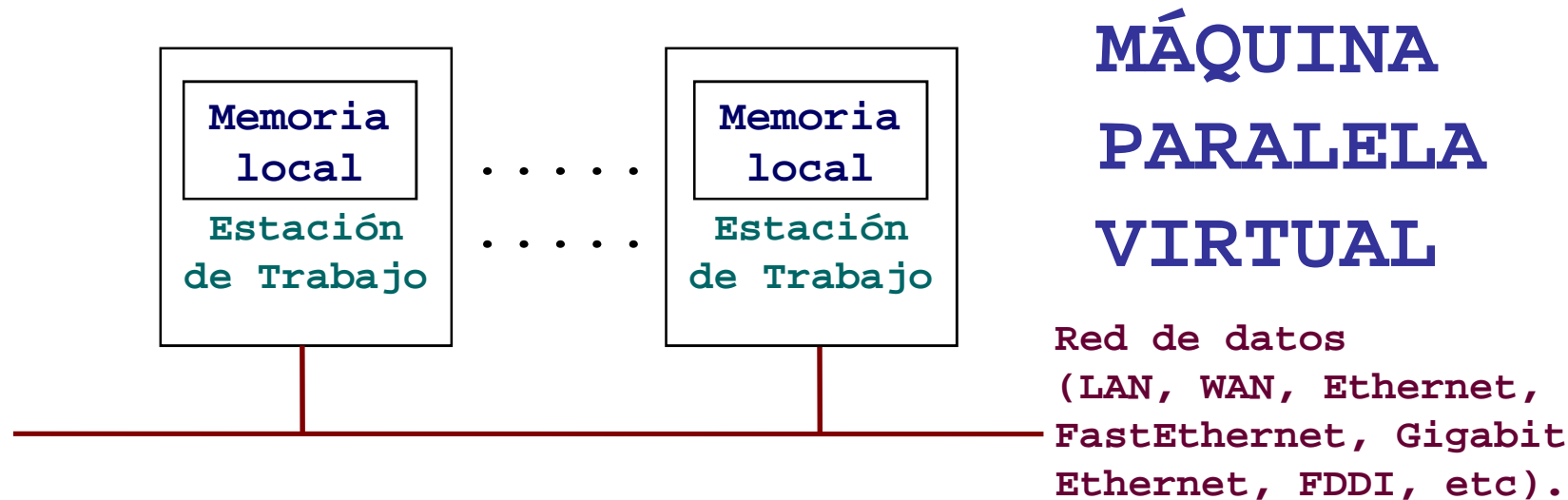
Hipercubo



Topologías "dimensionales" (distancia constante)

ARQUITECTURA MIMD CON MEMORIA DISTRIBUIDA

Caso particular



VENTAJAS

- Usa infraestructura existente.
- Sistema escalable.
- Fácilmente programable.

DESVENTAJAS

- Grandes latencias en las comunicaciones.
- Disponibilidad, seguridad.