

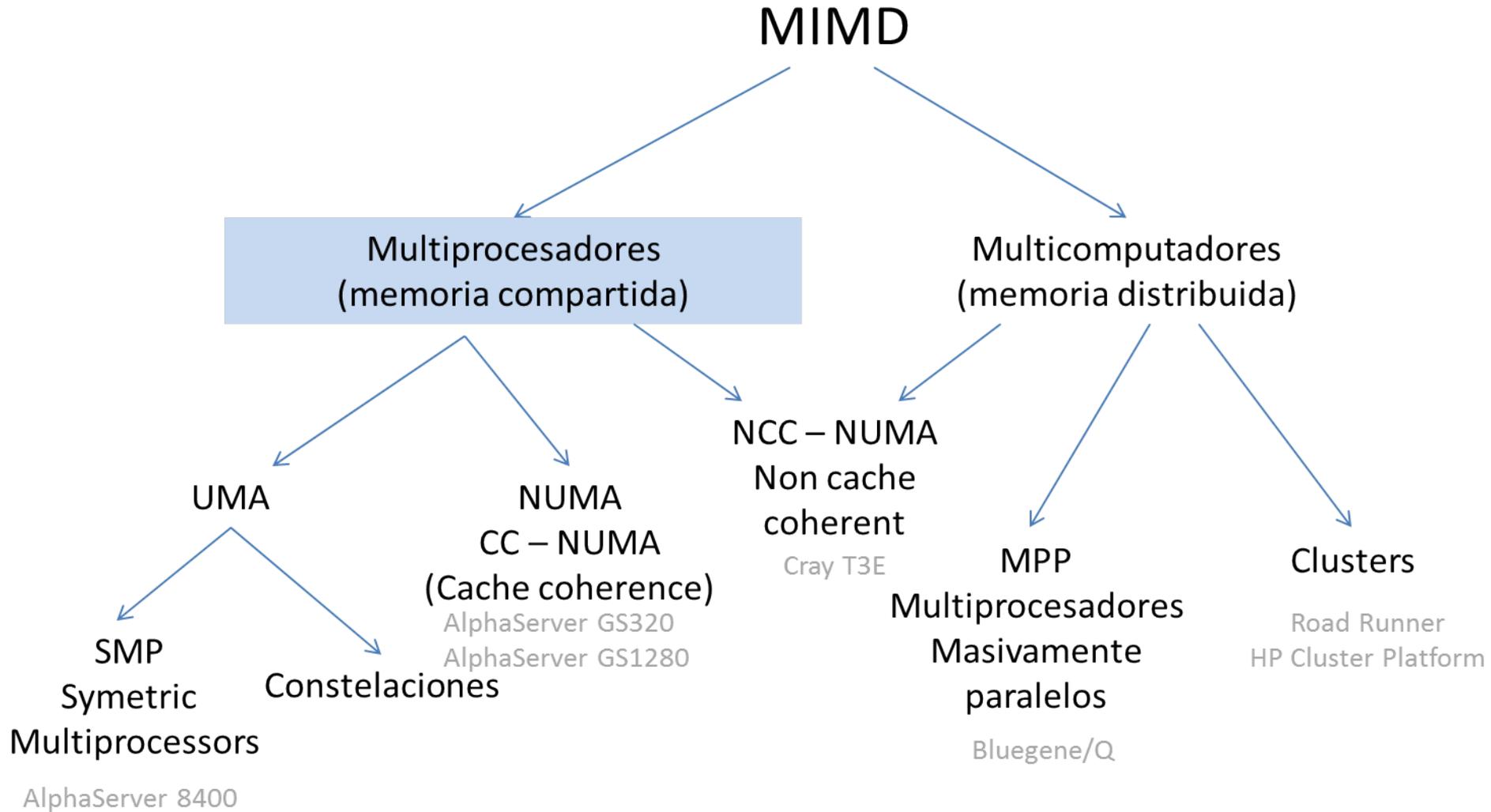


UNIVERSIDAD  
DE BURGOS

# Multiprocesadores comerciales

José M. Cámara  
([checam@ubu.es](mailto:checam@ubu.es))

v. 1.0





UNIVERSIDAD  
DE BURGOS

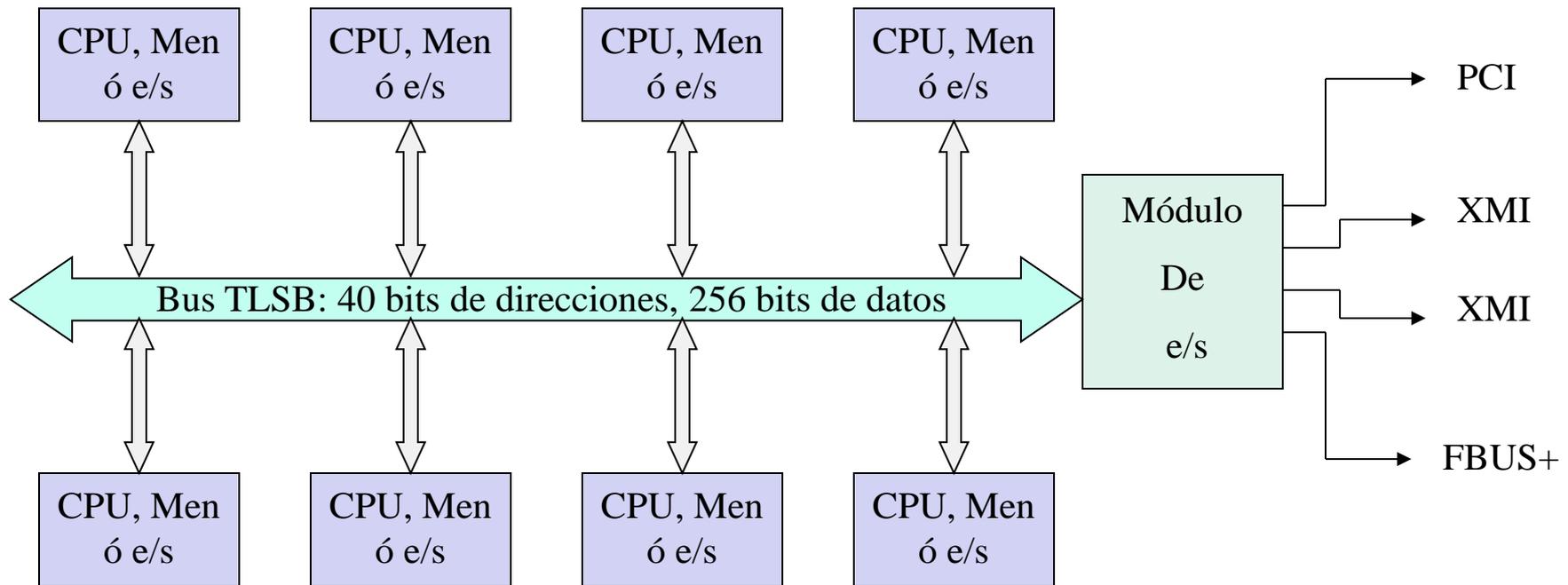
# Arquitectura SMP

AlphaServer 8400

# Características generales

- Multiprocesador simétrico de acceso uniforme a memoria
- Hasta 12 CPU Alpha 21164
- Hasta 14 GB de memoria
- Bus de sistema de 3200MB/s
- Sistemas operativos OpenVMS y Digital UNIX

# Diagrama del sistema



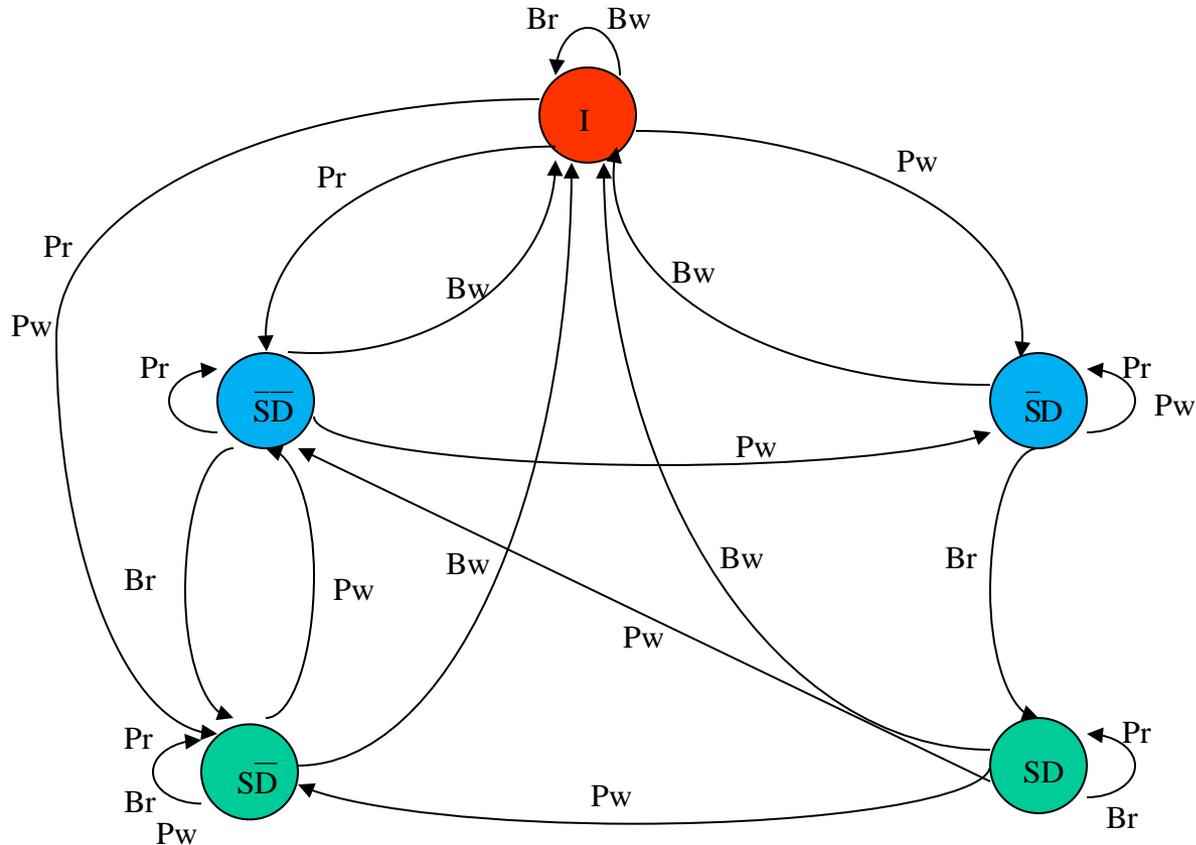
- Un módulo de e/s, de CPU y de memoria obligatorios



# Alpha 21164

- Fabricante: Digital.
- Año: 1996.
- Frecuencia de reloj: hasta 500 MHz.
- Tecnología: CMOS 0'35 micras.
- Cache L1: 8 + 8 kB.
- Cache L2: 96 kB.
- Cache L3 externa (opcional).
- Transistores: 9'3 millones.
- Potencia: 25W.

# Protocolo de coherencia



- I: inválido
- S: compartido
- D: modificado
- Pw en una línea compartida actualiza la memoria principal y deshabilita D en la copia local.

# Módulo de CPU

- Puede albergar una o dos CPUs
- Cada CPU trabaja independientemente y dispone de su propia cache L3
- Se soportan CPUs de 142 a 357 MHz
- La cache L3 es de 4MB con líneas de 64 bytes
- Proporciona el espacio de etiquetas duplicado necesario cuando se incluye la cache L3
- Dispone de multiplexores – demultiplexores (DIGA) para adaptar el ancho del micro (128) al del bus (256). Para ello se sirven del buffer de datos
- El multiplexor de direcciones (MMG) alberga también el espacio de etiquetas duplicado
- El interfaz de direcciones, recibe también comandos y maneja el espacio de etiquetas duplicado. Es el responsable de la coherencia de cache

# Bus de sistema

- Tiene capacidad para 9 módulos
- Uno de ellos debe ser de e/s, otro de memoria y otro de CPU. Si hay más de 3 de CPU, debe haber dos de memoria
- 40 bits de direcciones y 256 de datos
- Funcionamiento síncrono con reloj múltiplo del de la CPU (33-100 MHz)
- Velocidad de transferencia máxima de 3200 MB/s
- Paridad simple en direcciones y comandos; ecc en datos

# Módulo de memoria

- De 128 MB a 2 GB
- Máxima capacidad = 14 GB
- ECC
- Protocolo de escritura invalidación
- La escritura sobre bloques compartidos exige la toma del control del bus, haciendo que la memoria principal se actualice de forma automática

# Módulo de e/s

- Proporciona conexión a buses estándar:
  - XMI (2)
  - PCI
  - Futurebus+



UNIVERSIDAD  
DE BURGOS

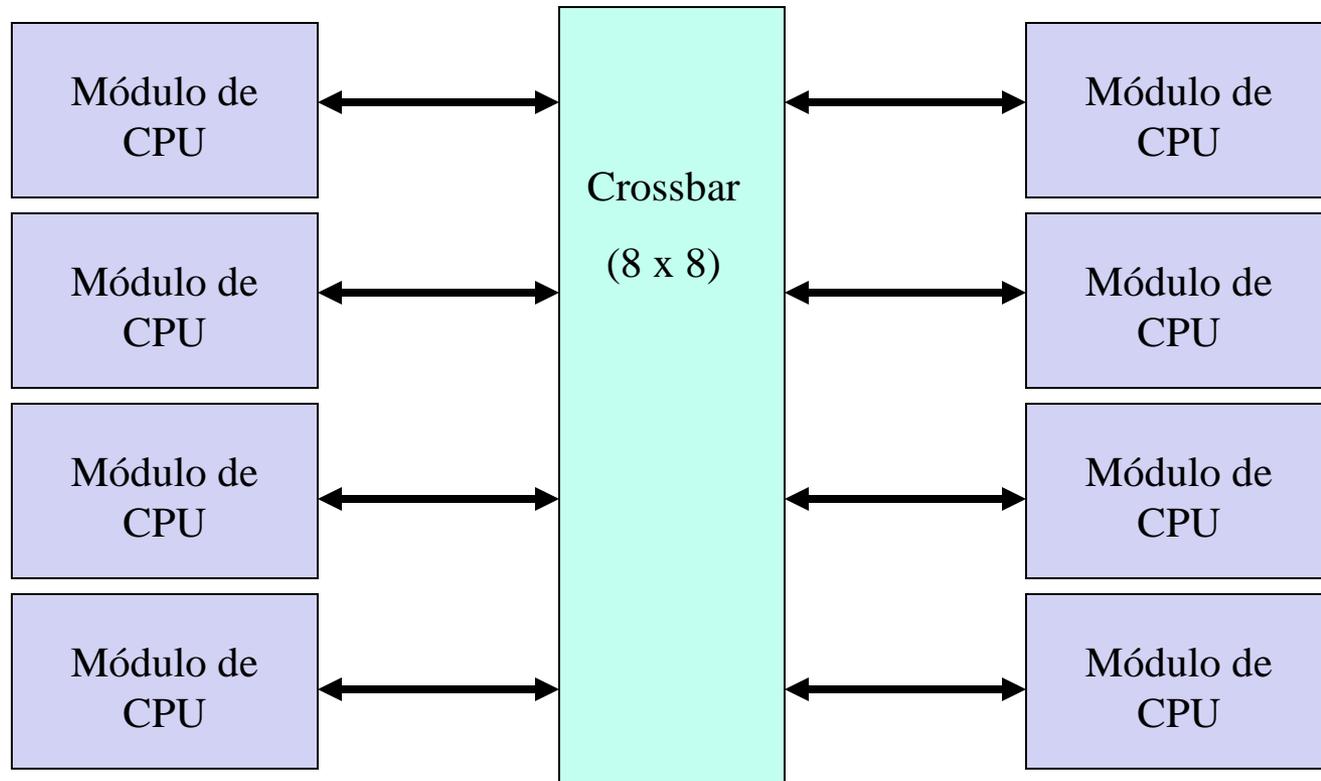
# Máquinas de acceso no uniforme a memoria: CC-NUMA

# AlphaServer GS320

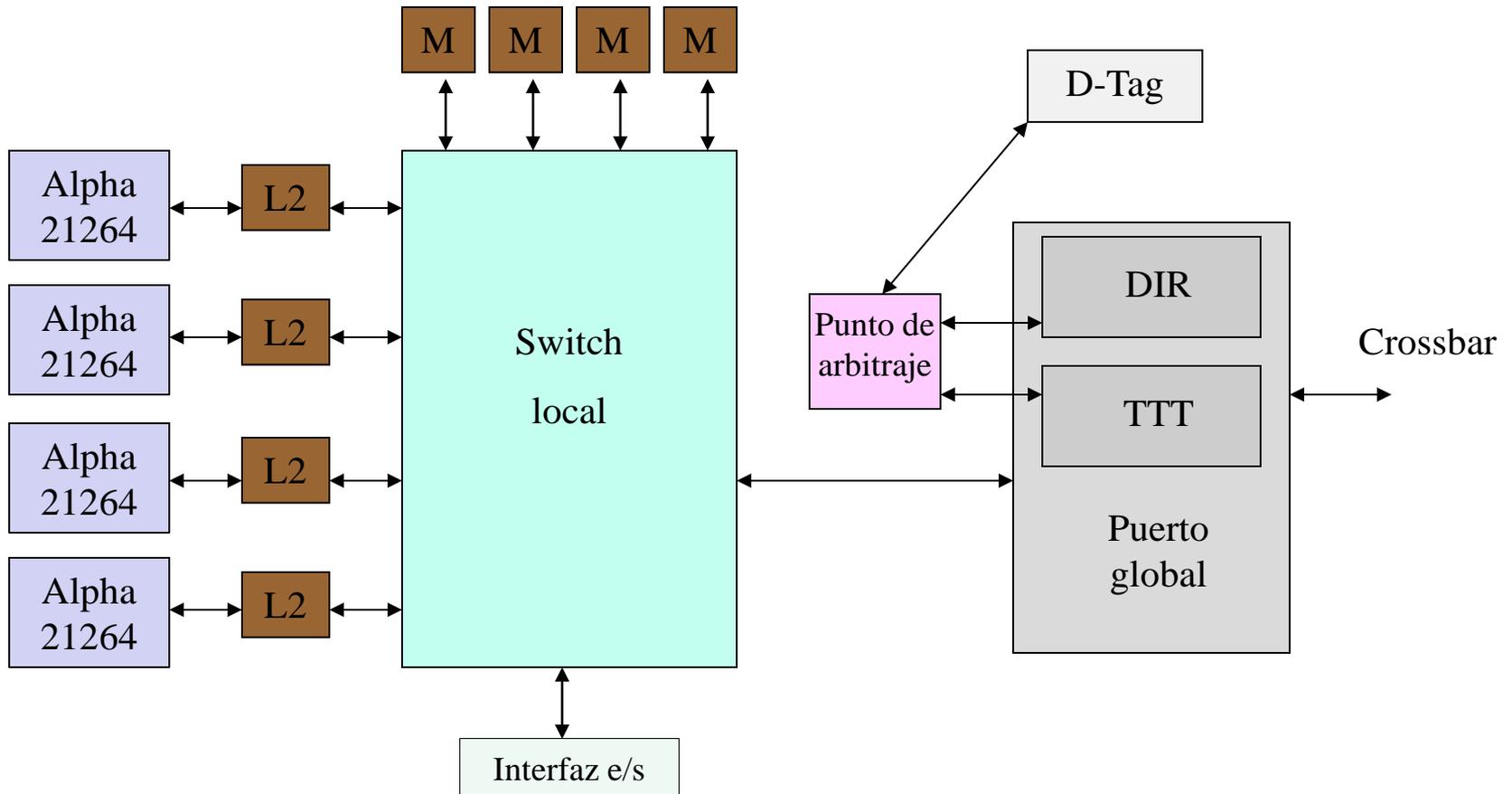
# Características generales

- Arquitectura CC-NUMA
- Módulos de 4 procesadores Alpha 21264
- Hasta 8 módulos (máx 32 procesadores)
- Conexión crossbar 8x8 a 1'6 GB/s
- Directorios de mapeo completo
- Sistemas operativos: Tru64 UNIX, Open VMS, LINUX

# Arquitectura



# Módulo de CPU



# Alpha 21264

- 731 MHz en esta máquina
- Cache L1 de 64 + 64 kB parcialmente asociativa de dos vías
- Cache L2 externa de 4 MB de mapeo directo
- Permite ejecución sin orden
- Pipeline simplificado

# Memoria

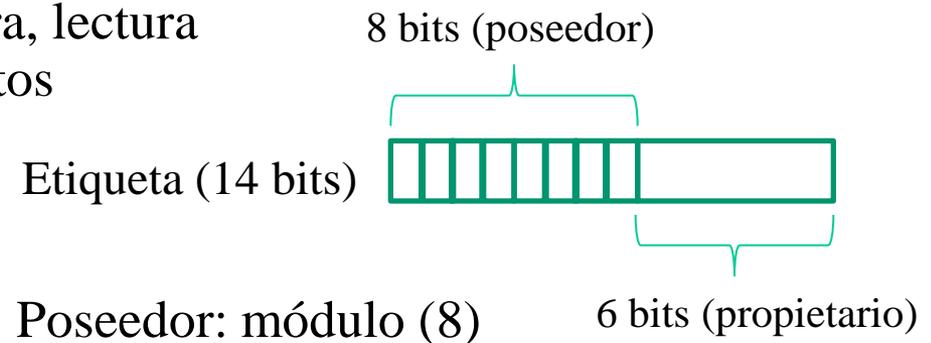
- 4 módulos de 1 a 8 GB cada uno
- Capacidad máxima de 32 GB por módulo
- Entrelazado de 8 vías en cada módulo
- Ancho de banda total de 6'4 GB/s
- 2 niveles de coherencia:
  - Intra-módulo: la tag duplicada funciona como directorio de mapeo completo
  - Inter-módulo: el directorio se encuentra en el puerto global

# Switch

- El switch local es similar a un crossbar pero con una construcción asimétrica
- No permite todas las posibles conexiones, p. ej. No se pueden conectar módulos de memoria entre sí
- No todas las conexiones tienen el mismo ancho de banda; el puerto global dispone de ancho de banda doble

# Coherencia

- Involucra a varios elementos: DIR, TTT, D-Tag y punto de arbitraje
- Bloques de 64 bytes con 14 bits: 6 para identificar al propietario y 8 para identificar a los poseedores a nivel de módulo, no de CPU
- El espacio de etiquetas duplicado permite identificar a cada CPU
- El TTT es una tabla asociativa que mantiene una lista de hasta 48 transacciones pendientes de actualizar en memoria remota (write-backs)
- 4 posibles peticiones de acceso: lectura, lectura exclusiva, exclusivo, exclusivo sin datos



Propietario: CPU (32) + e/s (8) + memoria (1)

# Desajustes de funcionamiento

- Una petición llega a un propietario después de un write-back
  - Se mantiene la línea en un buffer víctima hasta que se atiendan todas las peticiones pendientes en la D-Tag
  - Posteriormente, se mantiene la línea en el TTT hasta que la memoria notifica su recepción
- Una petición llega a un propietario antes de que reciba los datos
  - El procesador compara la petición con su lista de fallos pendientes. Si coinciden, retrasa la petición

# AlphaServer GS1280

# Características Principales

- 64 CPU Alpha 21364 a 1'5 GHz
- Red toroidal 2-D
- Rutado adaptativo mínimo con 3 canales virtuales
- Cada nodo dispone de una CPU, memoria principal y e/s
- Coherencia basada en directorios de mapeo completo

# CPU

- Cache L2 integrado 1'75 MB parcialmente asociativa de 7 vías
- Controlador de memoria integrado
- Router integrado para conexión a toro 2-D
- 0'18 micras
- 152 millones de transistores

# Memoria

- Cache L1 integrada de 64 +64 kB parcialmente asociativa de 2 vías
- Cache L2 integrada de 1'75 MB parcialmente asociativa de 7 vías con ECC
- Memoria principal de 8 GB por procesador con ECC

# Interconexión

- Toro 2-D
- Enlaces bidireccionales de 6'2 GB/s (2 x 3'1)
- Tres canales virtuales: dos DOR y uno adaptativo. Los paquetes intentan viajar por el adaptativo pero saltan a los DOR en caso de bloqueo
- Red libre de bloqueo: interdimensional por ser DOR, intradimensional por disponer de dos canales virtuales



UNIVERSIDAD  
DE BURGOS

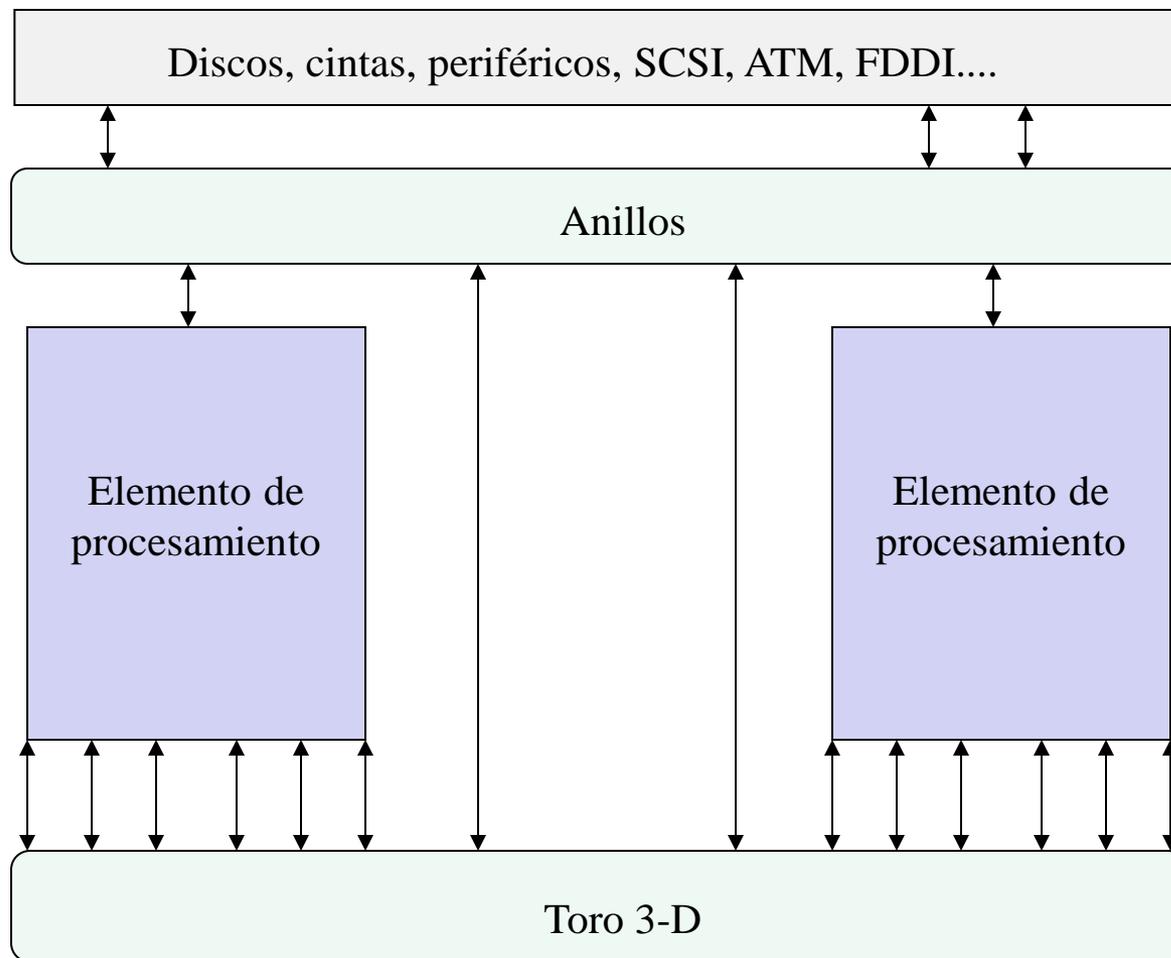
# Arquitectura NCC - NUMA

CRAY T3E

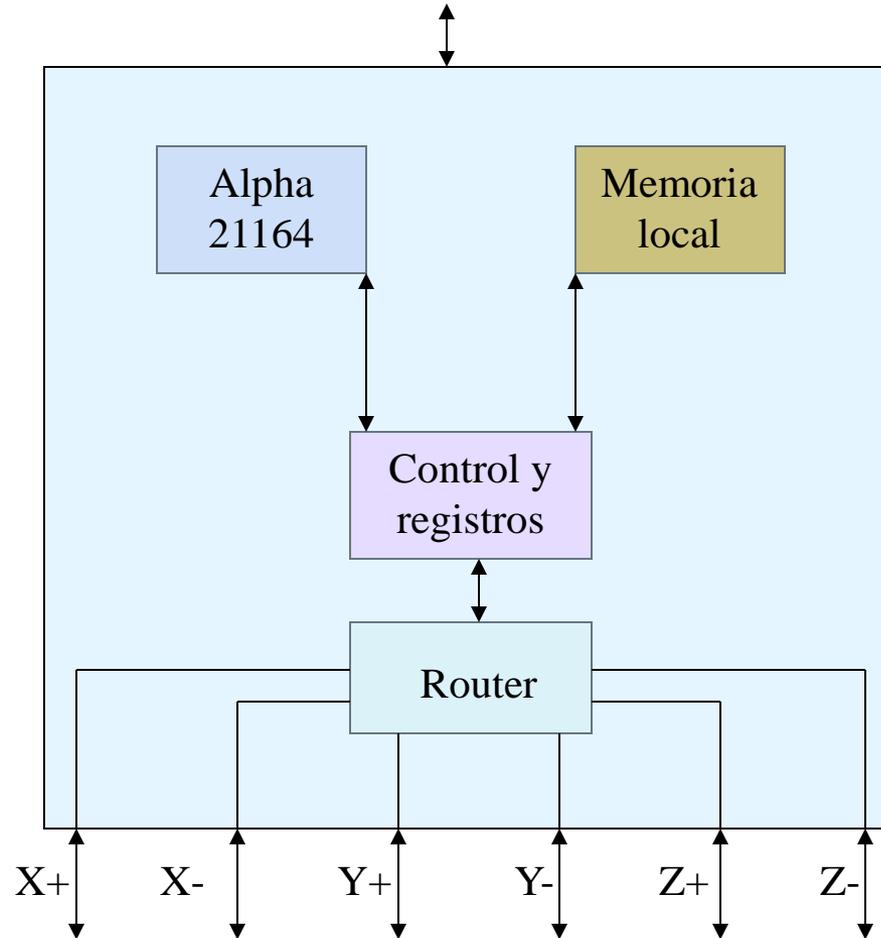
# Características generales

- Máquina NCC-NUMA
- Hasta 2048 nodos Alpha 21164
- Red de interconexión toroidal 3-D
- Anillos adicionales para e/s
- Sistema operativo UNICOS

# Arquitectura



# Elemento de procesamiento



# Memoria

- Cache L1 y L2 integradas en el Alpha
- Memoria principal en cada nodo de hasta 2 GB con ECC.
- Sin mecanismo hardware de coherencia global
- A nivel local se mantiene mediante el protocolo de tres estados del Alpha
- Los datos remotos se leen individualmente (no por bloques de caché) y se almacenan en los registros

# Interconexión

- Toro 3-D con enlaces bidireccionales de 600 MB/s
- Conmutación de paquetes divididos en flits (wormhole)
- Encaminamiento adaptativo
- Anillos independientes formados por enlaces bidireccionales (1 GB/s) a los que se conectan 16 nodos (entre nodos de procesamiento, periféricos y puertos)
- Hasta 128 anillos

# Abrazos mortales

- Interdimensionales: se solucionan combinando canales virtuales y orden de dimensión (DOR)
- Intradimensionales: eliminación (mecanismo de recuperación)

# Referencias

- **AlphaServer 8200/8400. System Technical Manual.** Digital Equipment Corporation. 1995. Disponible en <http://h18002.www1.hp.com/alphaserver/download/t8030tma.pdf>
- Architecture and Design of AlphaServer GS320. Kourosh Gharachorlooy, Madhu Sharma, Simon Steely, and Stephen Van Doren. *Ninth International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-IX), November 2000.*
- AlphaServer ES47, ES80, and GS1280 Systems. Technical Summary. Disponible en: [http://www.compaq.com/alphaserver/gs1280/gs1280\\_tech.html](http://www.compaq.com/alphaserver/gs1280/gs1280_tech.html)