

# Estructura dels computadors

Grau en Enginyeria Informàtica  
ETSINF

Tema 10  
Estructures d'interconnexió



# Contingut

- Els busos

- ✓ Concepte de bus
- ✓ Tecnologia dels busos
- ✓ Topologies
- ✓ Interconnexió de busos
- ✓ Jerarquia de busos

- Busos actuals:

- ✓ Tendències
- ✓ PCI i PCIe
- ✓ SATA
- ✓ USB i Firewire
- ✓ Jerarquia de busos actual

- Transferències dins del computador

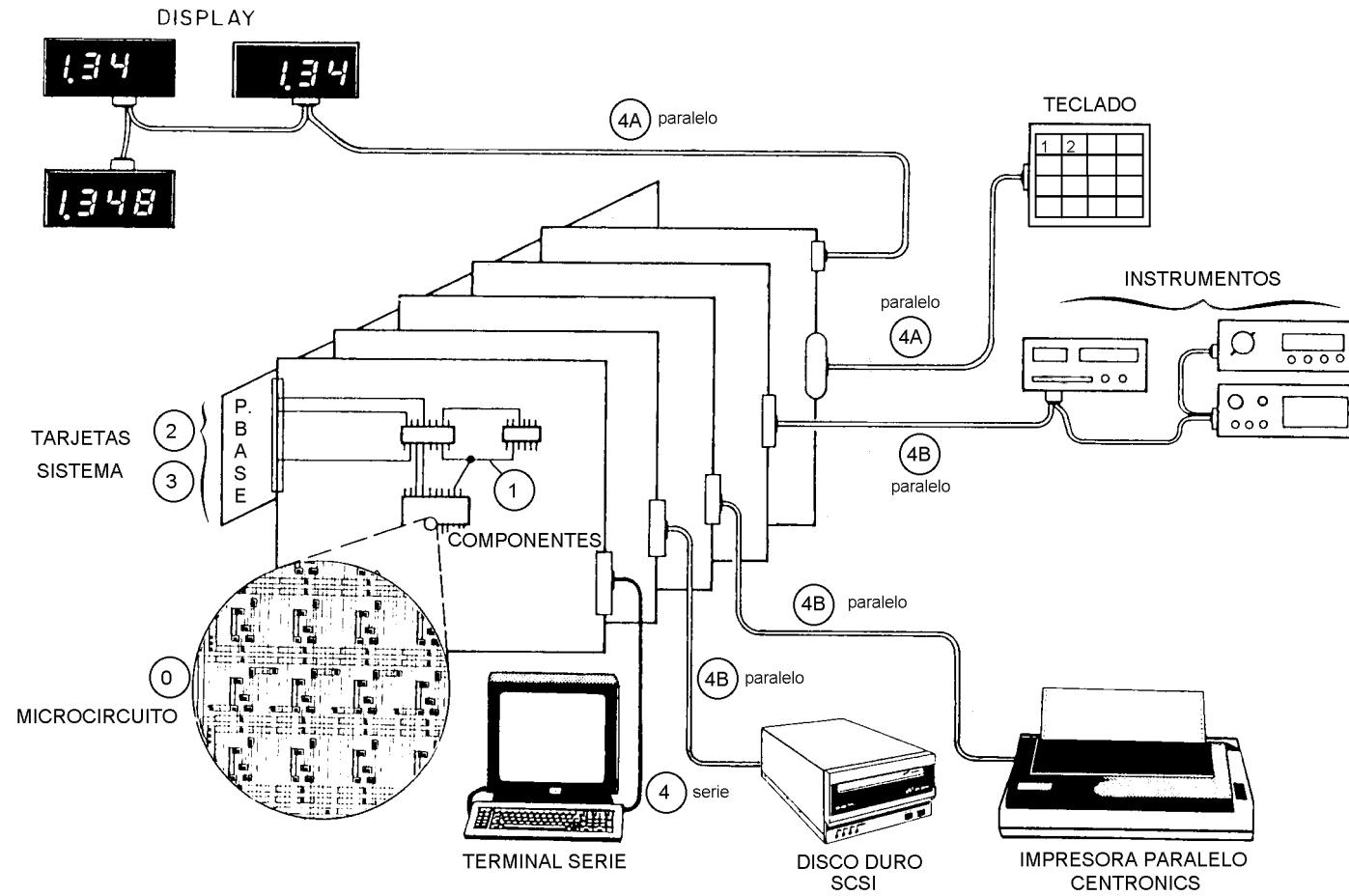
- ✓ El paper del controlador i el paper del sistema operatiu
- ✓ Exemples de temporització



# Els busos

# Interconnexió de les unitats del computador

- El processador, la memòria, els dispositius d'E/S, amb distints requeriments d'amplada de banda
- La interconnexió entre tots es fa amb diferents tipus de busos



# Generalitats sobre els busos

- **Conceptes de bus i cicle de bus**

- ✓ Es un sistema de comunicació entre dos o més dispositius que permet:
  - Adreçament: la selecció dels dispositius i dels elements adreçables continguts dins del dispositiu seleccionat
  - Sincronització: la senyalització de que un dispositiu està preparat per a transmetre dades
  - Transferència: la transmissió efectiva de dades entre els dispositius
- ✓ Altres funcions opcionals són:
  - l'alimentació elèctrica dels dispositius
  - la connexió en calent (*hot plug*)
- ✓ Cicle de bus
  - Període de temps en què es du a terme la transferència elemental d'una dada entre dos dispositius connectats al bus

# Tecnologia dels busos

## • Requeriments d'un bus

- ✓ Amplada de banda suficient per a les transferències
- ✓ Distància
  - Alguns dispositius estan molt pròxims (pocs centímetres): processador, controlador de memòria, controlador de gràfics, etc
  - Altres dispositius poden estar distants (1 metre o més): impressora, escànner, etc. Hi caldrà un cable flexible per a connectar-los al processador i a la memòria
- ✓ Estandardització
  - Els dispositius fixos de la placa base (processador, rellotge del sistema, controlador de memòria, etc.) no necessiten connexió estàndard
  - Els perifèrics que es poden substituir (discs, adaptador gràfic, teclat, etc): caldrà connectar-los mitjançant un bus estàndard

# Tecnologia dels busos

## • Problemes elèctrics dels busos

- ✓ Soroll electromagnètic: altres components del computador i els equips veïns fan interferència
  - El problema creix amb el llarg dels cables i es redueix amb apantallament
- ✓ Distorsió i *clock skew*: els senyals elèctrics es deformen i perden sincronia entre els cables que formen del bus. El problema creix:
  - En acurtar el cicle de bus
  - Amb la flexibilitat dels cables, perquè les torsions alteren la geometria i les característiques elèctriques de cada fil
- ✓ Diafonia o *crosstalk*: els cables fan interferència elèctrica entre ells. El problema creix:
  - En incrementar el nombre de cables del bus
  - En limitar l'apantallament electromagnètic per voler que el cable siga flexible

# Tecnologia dels busos

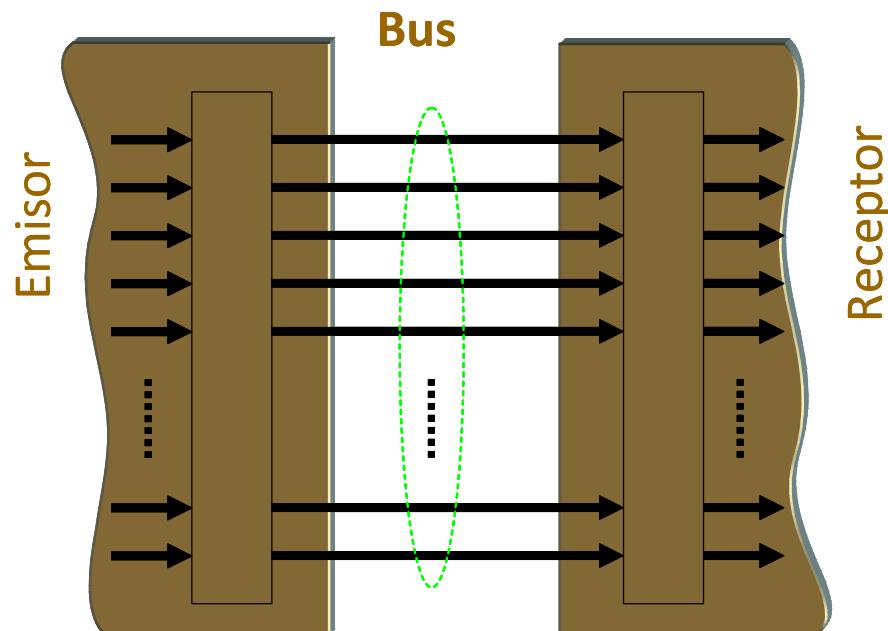
- Detalls físics

- ✓ Un bus està format per un conjunt de conductors de característiques elèctriques donades
  - Hi ha un conductor *pantalla* que envolta els altres fent una gàbia de Faraday per a reduir el soroll electromagnètic
  - Els conductors tenen una separació determinada per a reduir la diafonia
  - La longitud dels cables està limitada
- ✓ L'especificació d'un bus descriu les característiques mecàniques dels connectors
- ✓ El bus té un protocol: un mecanisme de detecció i correcció d'errors de transmissió basat en uns senyals de control específics
- ✓ El bus pot ser sèrie o paral·lel

# Tecnologia dels busos

## Bus paral·lel

- ✓ Tots els bits d'una paraula s'hi transmeten simultàniament en només una transferència elemental.
- ✓ Exemple de bus paral·lel (unidireccional)



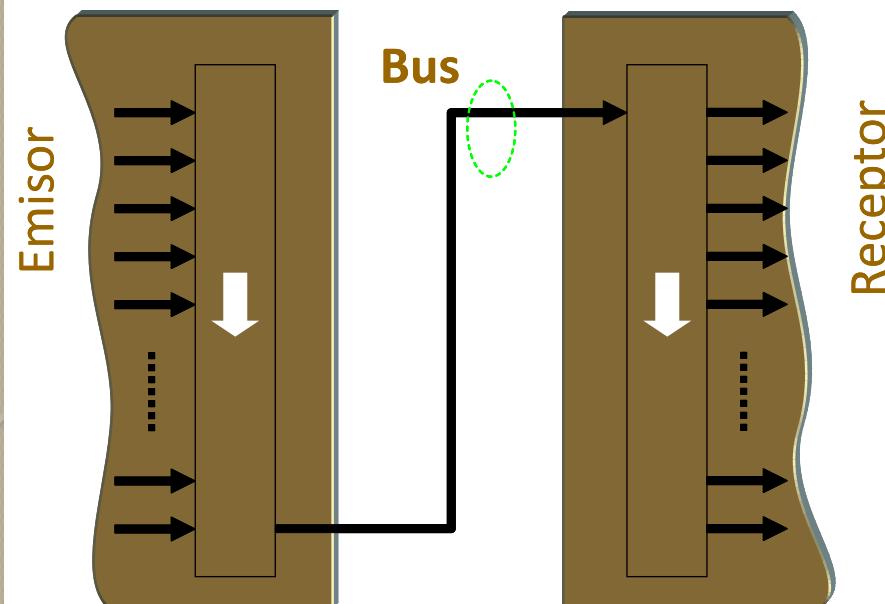
Dos registres de càrrega paral·lela permeten implementar un bus paral·lel:

1. El transmissor escriu la paraula en el seu registre.
2. S'hi fa la transferència de la paraula des del registre de l'emissor al del receptor
3. El receptor pot llegir la paraula

# Tecnologia dels busos

- Bus sèrie

- ✓ Els bits de la paraula es transmeten en sèrie. Cal fer moltes transferències elementals d'un bit per a transferir una paraula.
- ✓ Un bus sèrie equival a una única línia
  - En la pràctica, cal afegir més línies per a senyalització, alimentació, protecció, etc



Dos registres de desplaçament permeten comunicar dos dispositius amb un bus sèrie

1. El transmisor escriu la paraula en el seu registre.
2. De l'entrada sèrie en l'emissor a l'entrada sèrie en el receptor, s'hi transfereix la paraula bit a bit
3. El receptor hi pot llegir tota la paraula al final

# Tecnologia dels busos

## Comparació entre els busos sèrie i paral·lel

- ✓ El control de la connexió sèrie és complicat
- ✓ El cablejat dels busos paral·lels externs és pesat i rígid i els connectors són incòmodes i delicats
- ✓ En condicions ideals, el bus paral·lel és més ràpid que el bus sèrie
  - Condicions ideals: sense soroll electromagnètic i amb conductors perfectes (sense capacitatància ni inductància)
- ✓ Quan els rellotges dels dispositius connectats funcionen a freqüències de GHz, els busos paral·lels només poden funcionar a distàncies molt curtes (uns pocs centímetres) per culpa del *clock skew* i el *cross-talk*

Tipus	Complexitat de control	Problemes elèctrics	Nombre de cables i terminals
Paral·lel	baixa	greus	molts
Sèrie	alta	senzills	pocs

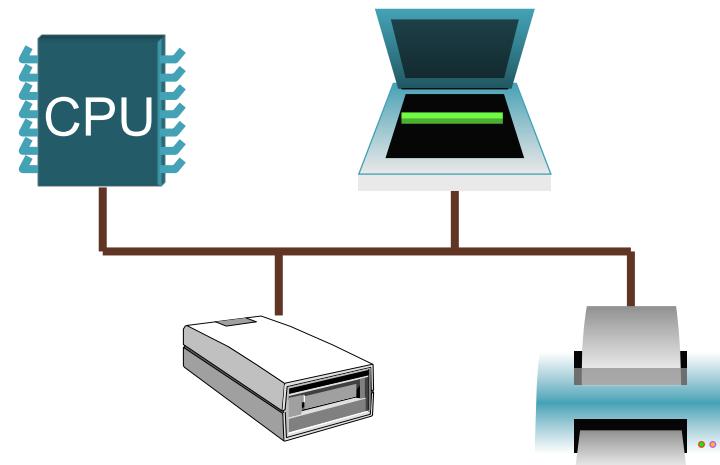
# Tecnologia dels busos

- Amplada de banda màxima d'un bus
  - ✓ Un bus té una freqüència de rellotge característica  $f$
  - ✓ Si es tracta d'un bus paral·lel i a cada cicle transfereix  $w$  bits, l'amplada de banda resultant serà  $B = f \cdot w/8$  Bps
    - Exemple: PCI-X.  $f = 133,3$  MHz,  $w = 64$  bits,  $B = 1066,6$  MBps
    - Exemple: Parallel ATA-133.  $f = 66$  MHz,  $w = 16$  bits,  $B = 133$  MBps
  - ✓ Si es tracta d'un bus sèrie, l'amplada de banda serà  $f$  bps, però caldrà descomptar la informació redundant per a control d'errors
    - Exemple: PCIe-1x (versió 2).  $f = 5$  GHz, codificació de 10 bits/byte,  $B = 500$  MBps
    - Exemple: SATA-3 Gbps.  $f = 3$  GHz, codificació de 10 bits/byte,  $B = 300$  MBps

# Topologies de bus

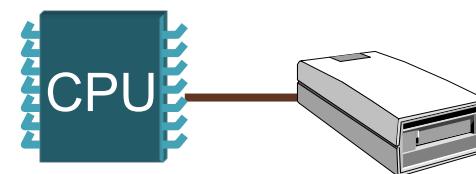
- Multipunt (multidrop)

- ✓ Hi ha un conjunt (limitat) de dispositius seleccionables
- ✓ Ex: ATA (límit = 2), PCI (límit =  $2^{32}$  o  $2^{64}$ )



- Punt a punt (point-to-point)

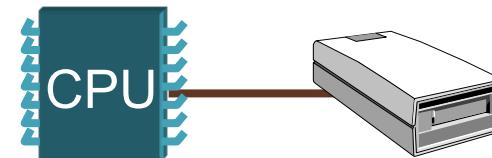
- ✓ Només un dispositiu
  - No cal selecció de dispositius
- ✓ Ex: RS-232, AGP



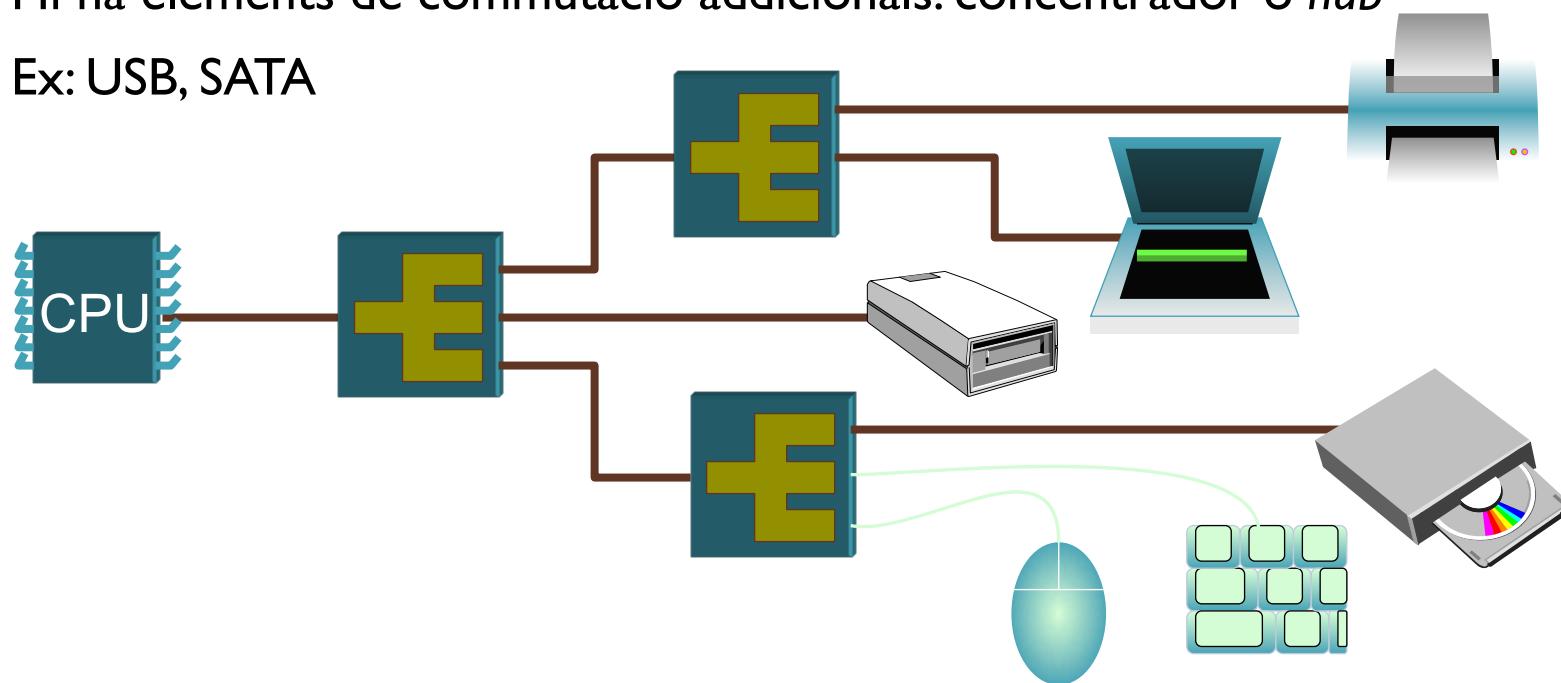
# Topologies de bus

- Bus en estrella

- ✓ La base és una connexió punt a punt



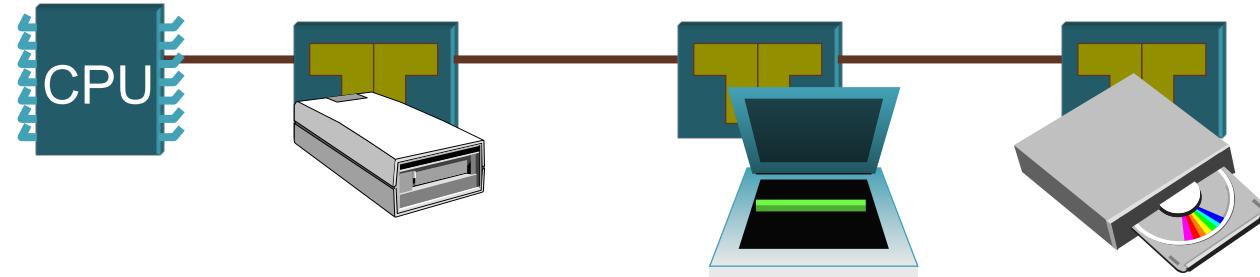
- ✓ Hi ha elements de commutació addicionals: concentrador o *hub*
- ✓ Ex: USB, SATA



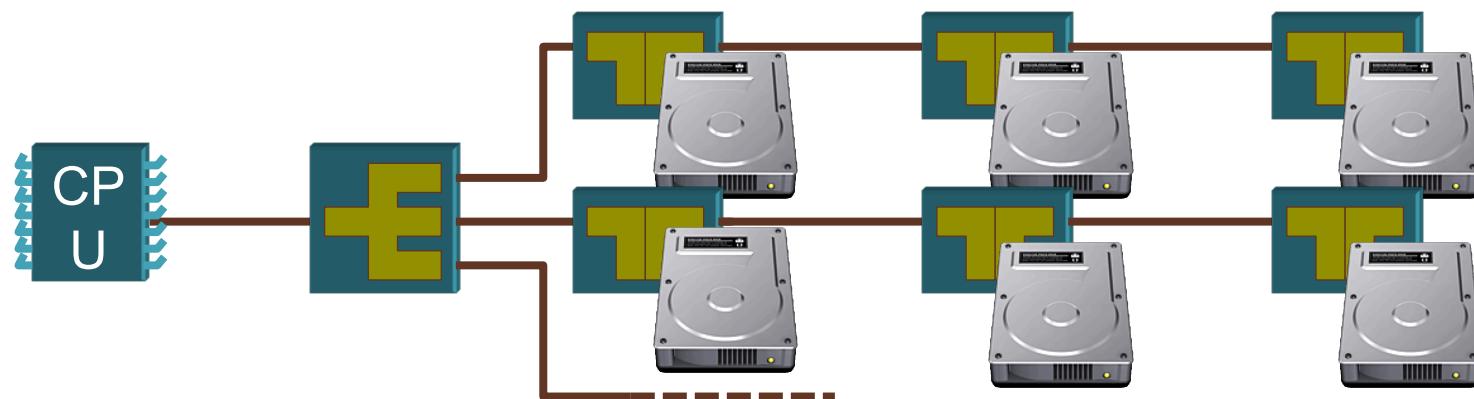
# Topologies de bus

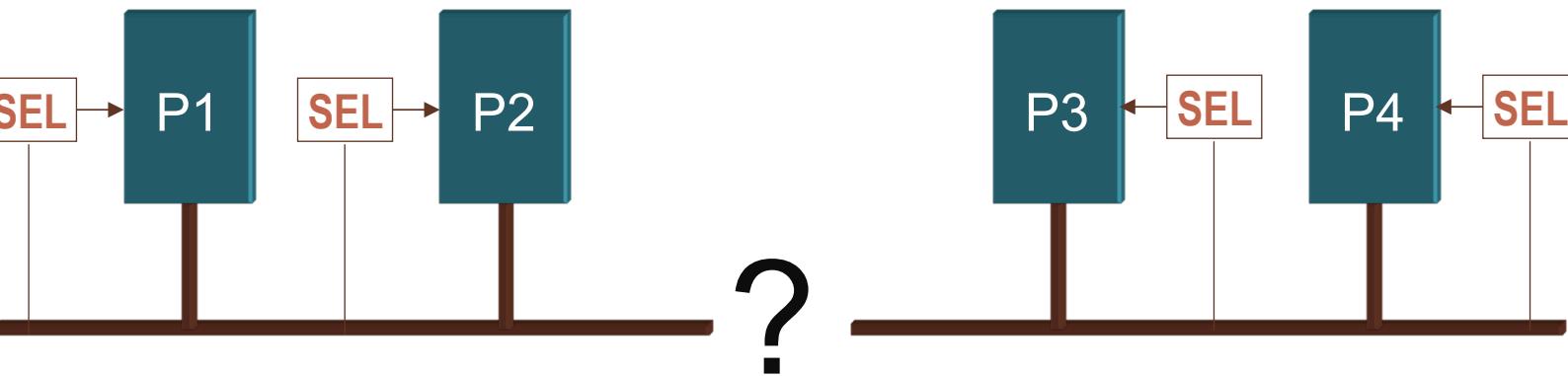
- Bus en margalida (*daisy chain*)

- ✓ Connexió punt a punt i repetidors
- ✓ Cada dispositiu conté dos connexions i un repetidor
- ✓ Ex: busos SCSI, Firewire



- ✓ Amb concentradors: topologia d'arbre (Firewire)





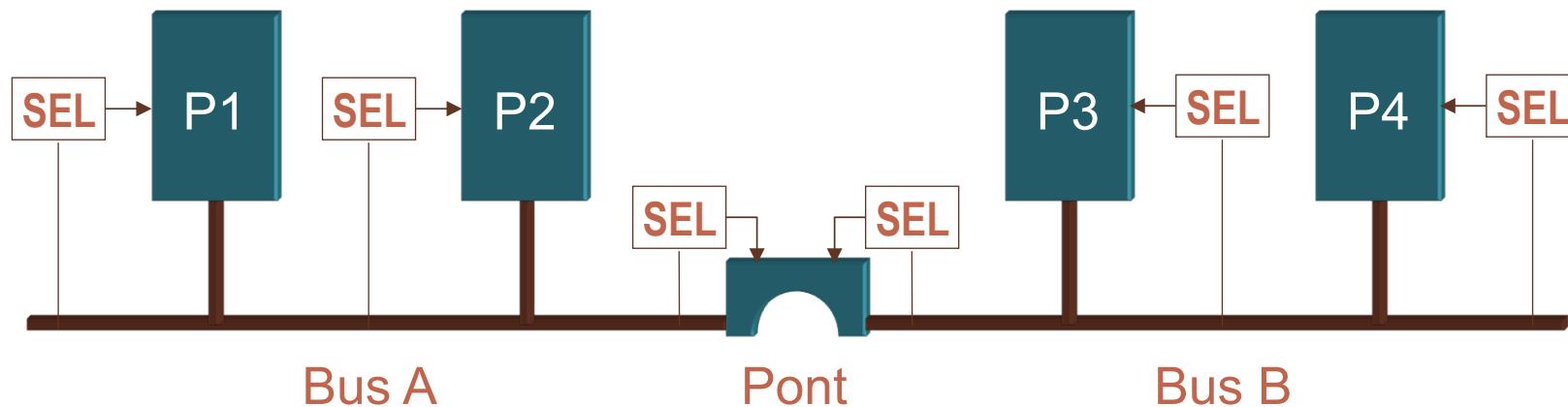
## Problemàtica

- ✓ Per a connectar dos busos cal resoldre, almenys, dos problemes:
  - L'adaptació física: cada bus té la seuia especificació quant als senyals que transmet. Caldrà traduir els senyals i adaptar les temporitzacions d'un bus a l'altre
  - L'adaptació lògica: cada bus conté diversos dispositius connectats. Caldrà fer possible que un dispositiu connectat en un bus puga seleccionar els connectats en l'altre

# Interconnexió de busos

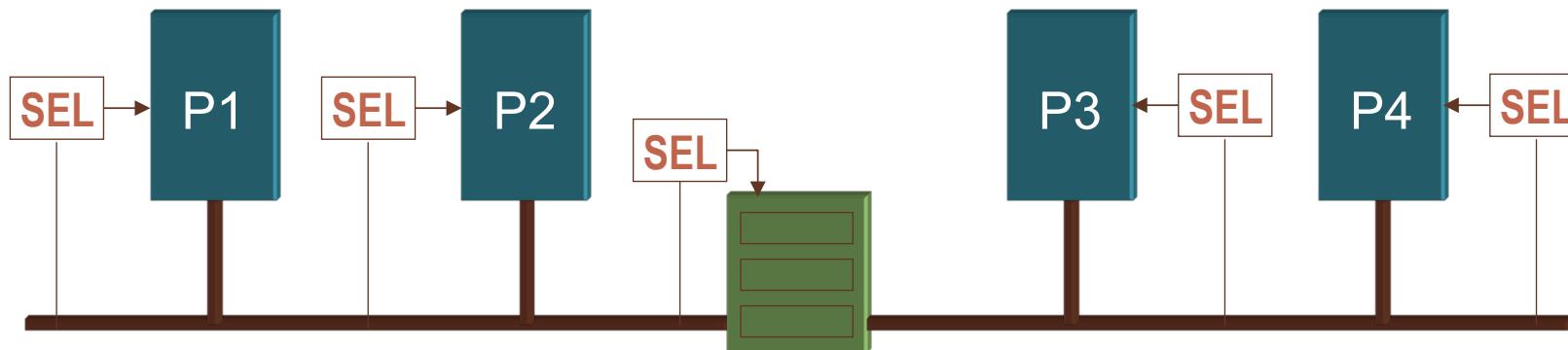
- **Ponts (bridges)**

- ✓ Un pont manté la unitat lògica
  - És a dir, que l'espai d'adreces és únic i els programes no noten les diferències entre un bus i un altre
- ✓ En cada bus, el pont es comporta com un dispositiu qualsevol que respon de part del conjunt dels dispositius de l'altre bus
  - En el bus A, les adreces de P3 i P4 seleccionen el pont
  - En el bus B, les adreces de P1 i P2 seleccionen el pont
- ✓ Quan està seleccionat en un bus, el pont tradueix els senyals a l'altre bus



# Interconnexió de busos

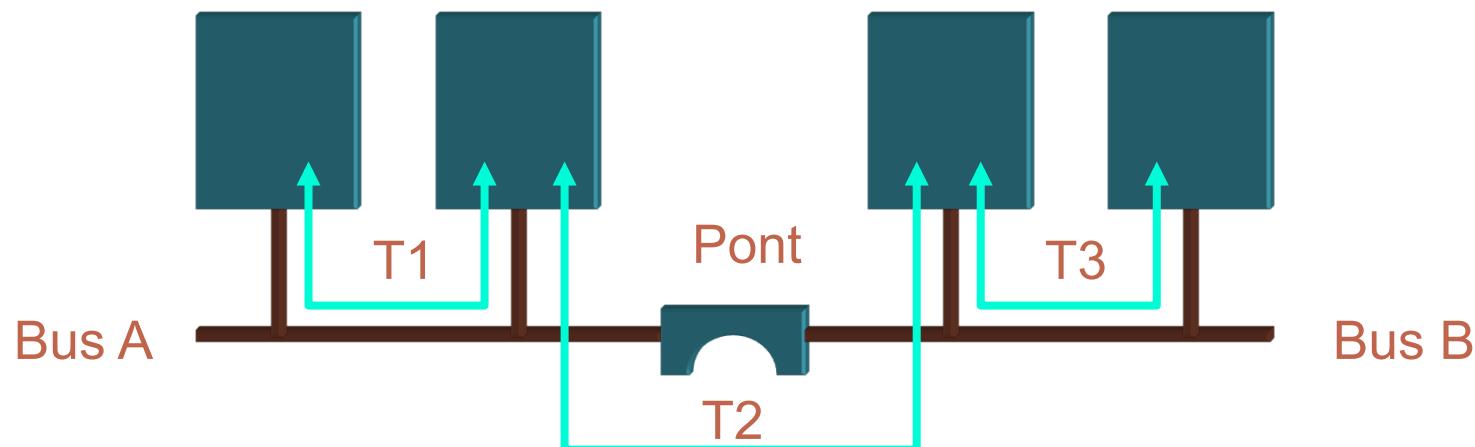
- Adaptadors de bus
  - ✓ Els adaptadors de bus ofereixen una **interfície** als programes
  - ✓ Els busos tenen espais d'adreçament separats
  - ✓ Els programes han de seleccionar l'adaptador i programar els seus registres per a comunicar-se amb els perifèrics que s'hi connecten a través de l'adaptador de bus
  - ✓ Exemple: P1, P2 i l'adaptador comparteixen el mateix mapa de memòria accessible mitjançant el bus A. P3 i P4 se seleccionen des del bus A escrivint les seues adreces en un registre de l'adaptador



# Interconnexió de busos

- **Amplada de banda**

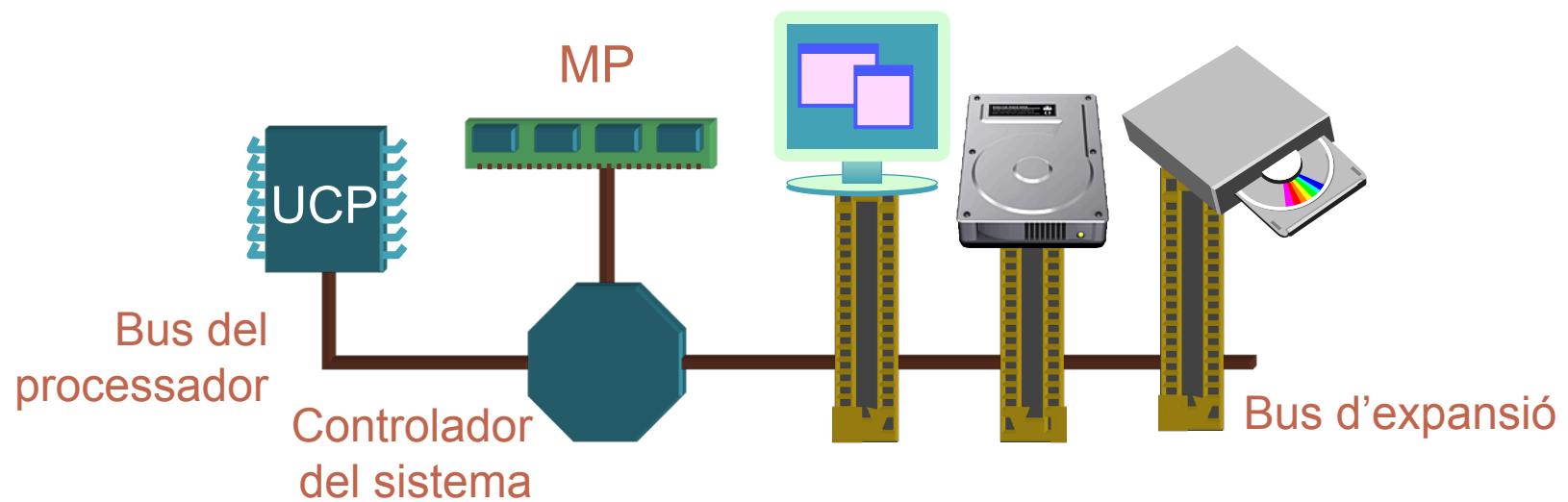
- ✓ Quan es connecten dos busos amb un pont o amb un adaptador, l'amplada de banda màxima serà:
  - per a les transferències que no travessen la interconnexió: l'amplada de banda del bus implicat
  - per a les transferències que travessen la interconnexió: l'amplada de banda menor
- ✓ Exemples d'amplada màxima: per a T1 la del bus A, per a T3 la del bus B i per a T2 la del bus més lent dels dos



# Jerarquia de busos

- El controlador del sistema

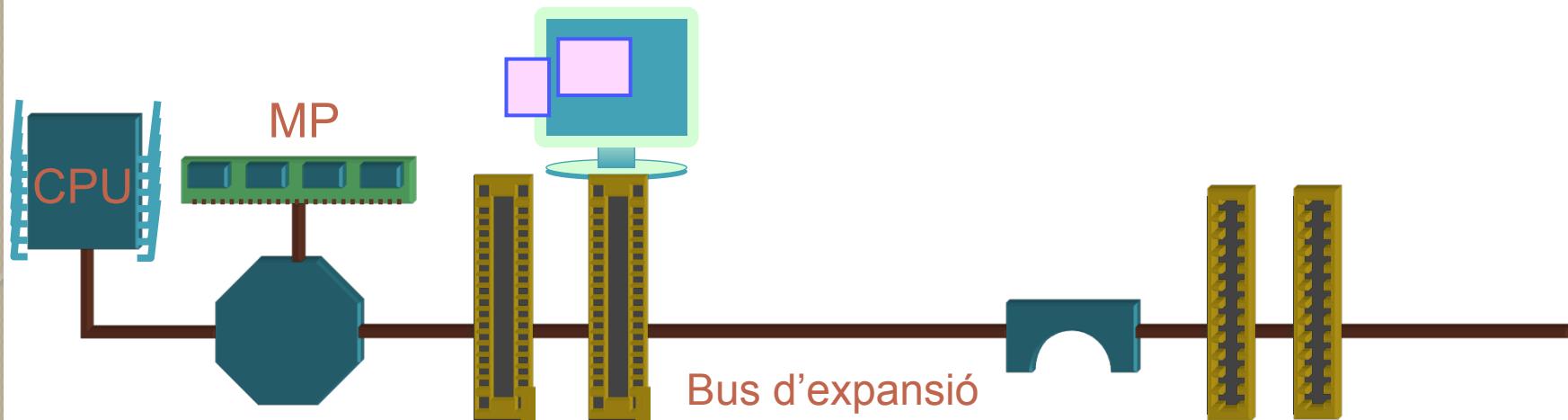
- ✓ És la combinació del controlador de memòria DRAM i un sistema de ponts que comunica:
  - El bus del processador. El seu disseny és propietari, depèn de la UCP en concret i està orientat a la màxima productivitat.
  - El bus d'expansió estàndard, orientat a la compatibilitat. Conté connectors per als adaptadors de perifèric
  - La memòria principal, que acompleix un estàndard tecnològic donat (DDR3, per exemple)



# Jerarquia de busos

- El bus de sistema

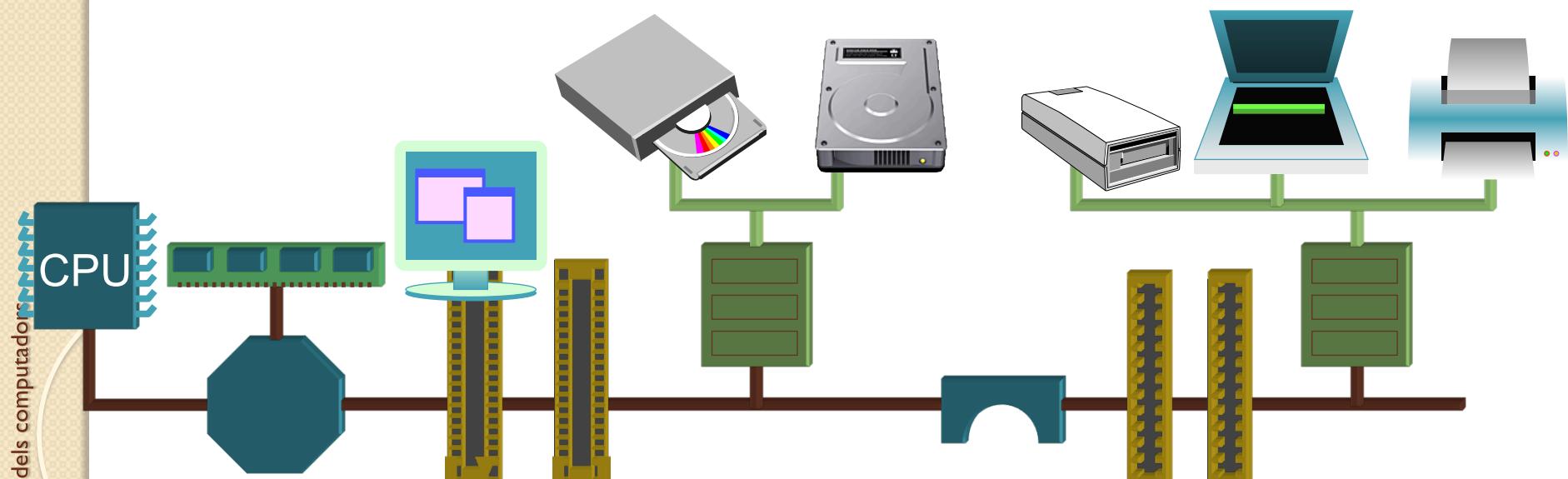
- ✓ Un bus del sistema permet connectar els dispositius mapejats en l'espai d'adreçament del processador
- ✓ El bus del sistema està format pel bus del processador, controlador del sistema i el bus d'expansió
  - El bus d'expansió pot estar compost per diversos busos connectats mitjançant ponts



# Jerarquia de busos

- **Els busos d'entrada/eixida**

- ✓ Són un conjunt de busos d'entrada/eixida estàndard, que es connecten al bus del sistema mitjançant adaptadors
- ✓ Cada bus d'entrada/eixida disposa del seu mapa de memòria. Per a adreçar, llegir i escriure en un dispositiu del bus, els programes han d'operar sobre la interfície de l'adaptador del bus



# Jerarquia de busos

## • Resum

- ✓ En un computador hi ha un conjunt de busos.
  - Els diferents busos estan connectats per ponts i adaptadors
  - Cada bus es tria a fi de satisfer certs criteris: compatibilitat, amplada de banda, etc.
- ✓ Com més aprop estiga un bus de la memòria principal, major amplada de banda ha d'ofrir

# Busos actuals

# Tendències

- Anys 1980...2000 (aprox):
  - ✓ Busos d'expansió paral·lels multipunt (PCI, NuBus...)
  - ✓ Busos de perifèric paral·lels (Centronics, SCSI, ATA) si calia bon ample de banda (escànnер, disc dur, etc)
  - ✓ Busos de perifèric sèrie (RS-232) per a perifèrics lents (ratolí o teclat) o llunyans (impressores)
- Anys 2000...2004
  - ✓ Busos d'expansió paral·lels (PCI i AGP)
  - ✓ Busos de perifèric paral·lels només per a discs interns (ATA)
  - ✓ Busos de perifèric sèrie (USB i Firewire)
- Actualment (2005...)
  - ✓ Busos d'expansió sèrie punt a punt (PCI express)
  - ✓ Busos de perifèric sèrie (SATA, USB, Firewire)
  - ✓ Només el bus del processador és sempre paral·lel! (i ja veurem...)

# Tendències

- Amplada de banda dels dispositius

dispositiu	MBps
processador (Core Duo 2GHz)	~10000
canal SDRAM DDR3 400 MHz	6400
pantalla gràfica (1600x1200, 50 fps)	300
disc dur (7200 rpm, 1000 sectors/pista)	100
DVD (20x)	27
CD-ROM (52x)	7,8

- Adaptadors de perifèric

perifèric	antic	actual
ratolí, teclat	RS232	USB
pantalla gràfica	PCI, AGP	PCIe
disc dur intern	ATA	SATA, SAS, FC
disc dur extern	SCSI	USB, Firewire, eSATA
unitat òptica	SCSI, ATA	SATA

# PCI (*Peripheral Component Interconnect*)

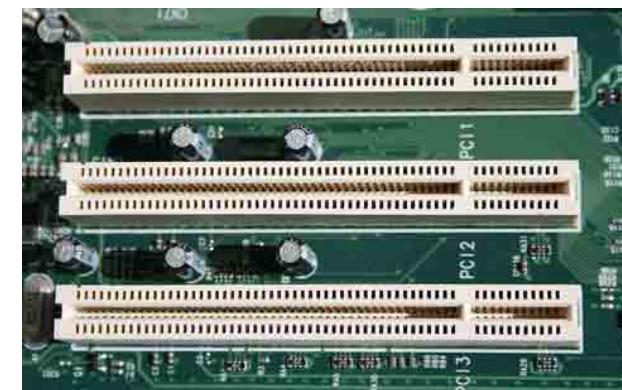
- **Característiques**

- ✓ És un bus paral·lel multipunt dissenyat per a funcionar com a bus del sistema
- ✓ En ús des de 1993, encara es manté per raons de compatibilitat



- **Amplada de banda**

- ✓ Ha tingut moltes versions. L'amplada de banda ha evolucionat des de 133 MBps fins a 4 GBps
  - PCI 2.3: 533 MB/s (64 bits, 66 MHz)
  - PCI-X 1.0: 1 GB/s (64 bits, 133 MHz)
  - PCI-X 2.0: 2 GB/s (64 bits, 266 MHz); 4 GB/s (64 bits, 533 MHz)



# PCI-express (PCIe)

- Carrils

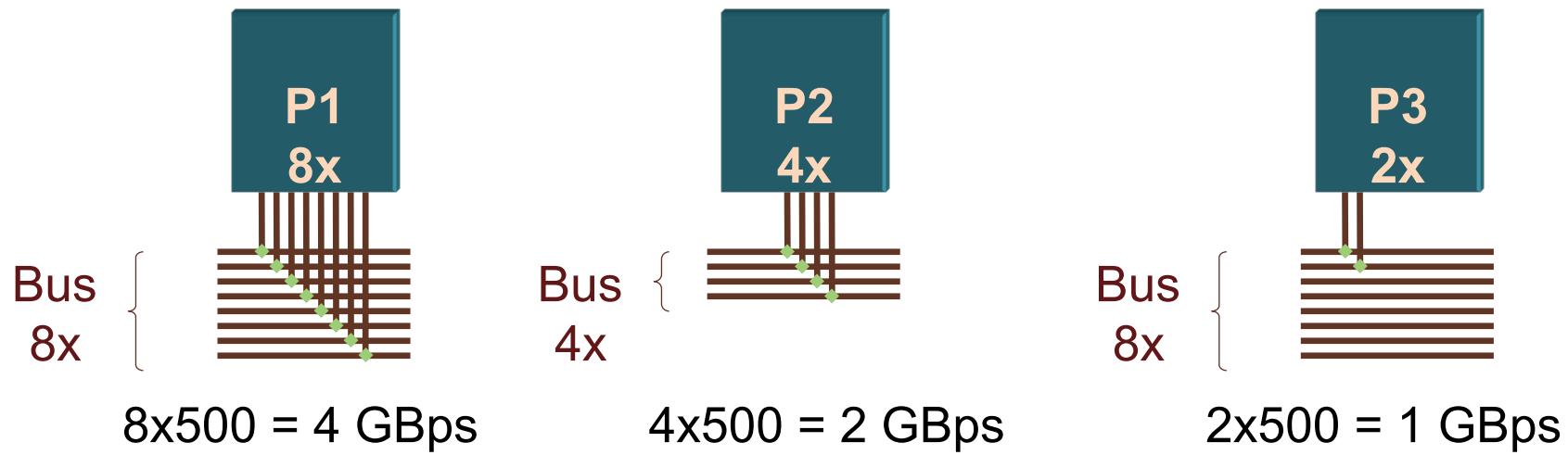
- ✓ És el bus de sistema continuador del PCI clàssic (paral·lel i multipunt)
- ✓ És un bus
  - Sèrie amb codificació 8b/10b (10 bits/byte)
  - Punt a punt caracteritzat per un nombre  $L_B$  de carrils o *lanes* (1x, 2x, 4x, 8x, 12x, 16x o 32x)
- ✓ Cada carril permet fer transferències en sèrie amb una amplada de banda de 250 MBps (PCIe versions 1.0 i 1.1) o 500 MBps (PCIe versió 2.0)



# PCI-express

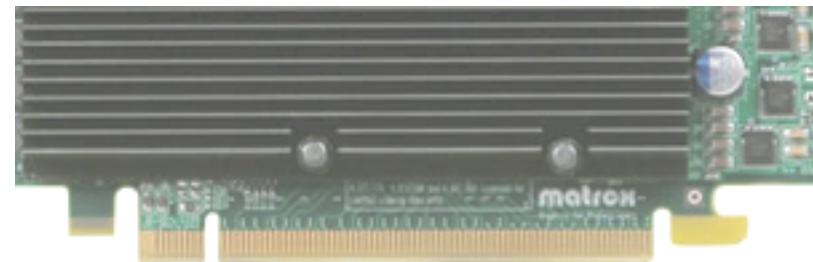
- Adaptadors de perifèric PCI-express

- ✓ Cada adaptador de perifèric té un nombre  $L_P$  de connexions a carrils (1x, 2x, etc...) del bus
- ✓ A l'inici, el sistema estableix per quants carrils pot rebre o enviar el perifèric a través del bus:  $\min\{L_B, L_P\}$
- ✓ Valors comuns de  $L_P$ : 8x per a l'adaptador gràfic, 1x per a l'adaptador de so
- ✓ Exemples amb PCIe 2.0:

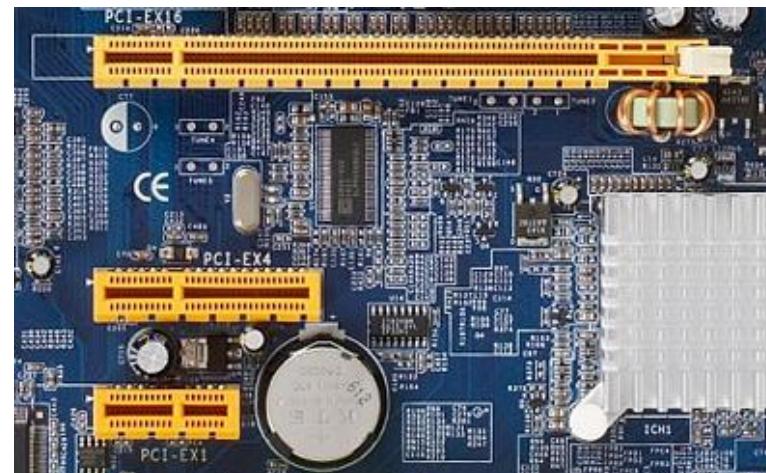


# PCI-express

- Adaptadors i connectors PCI-express



Adaptador 16x



Adaptador 1x



# Busos de perifèrics



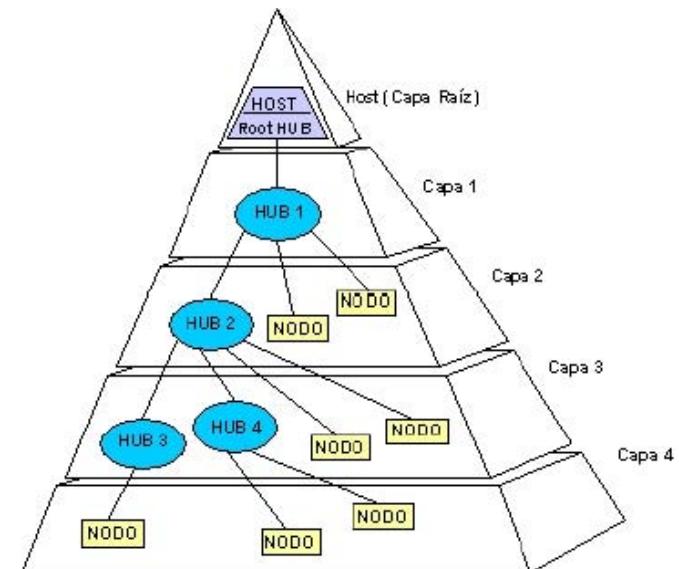
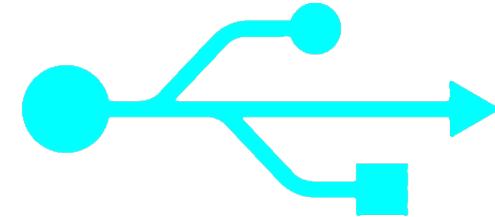
- Bus SATA (*Serial Advanced Technology Attachment*)
  - ✓ És un bus de perifèrics especialitzat en emmagatzematge, sobretot discs durs i unitats òptiques
  - ✓ Connexió sèrie (1 m màxim), codificació 8b/10b (10 bits/byte)
  - ✓ Dues topologies possibles:
    - Punt a punt: un perifèric per bus
    - En estrella, amb un nivell de commutadors (multiplicadors). Fins a 15 perifèrics.
  - ✓ Versions i amplades de banda:
    - SATA 1.5 Gb/s: 150 MBps efectius
    - SATA 3 Gb/s “SATA II” (300 MBps)
    - SATA 6 Gb/s (600 MBps)
  - ✓ Versió externa (eSATA): 2 m i 3 Gb/s



# Busos de perifèrics

- Bus USB (*Universal Serial Bus*)

- ✓ Bus de perifèrics de propòsit general
- ✓ Connexió sèrie. Topologia d'estrella
- ✓ Cables:
  - llarg màxim = 5 m
  - connectors asimètrics
  - permet alimentació (5 V, fins a 0.5 A)
- ✓ Fins a sis nivells de concentradors
- ✓ Fins a 127 dispositius per bus
- ✓ Versions i amplades de banda:
  - USB 1.0 i 1.1: 12 Mbit/s (1.5 MB/s)
  - USB 2.0: 480 Mbit/s (60 MB/s)
  - USB 3.0: 4.8 Gbit/s (600 MB/s)
  - USB 3.1: 10 Gbit/s (128b/130b)



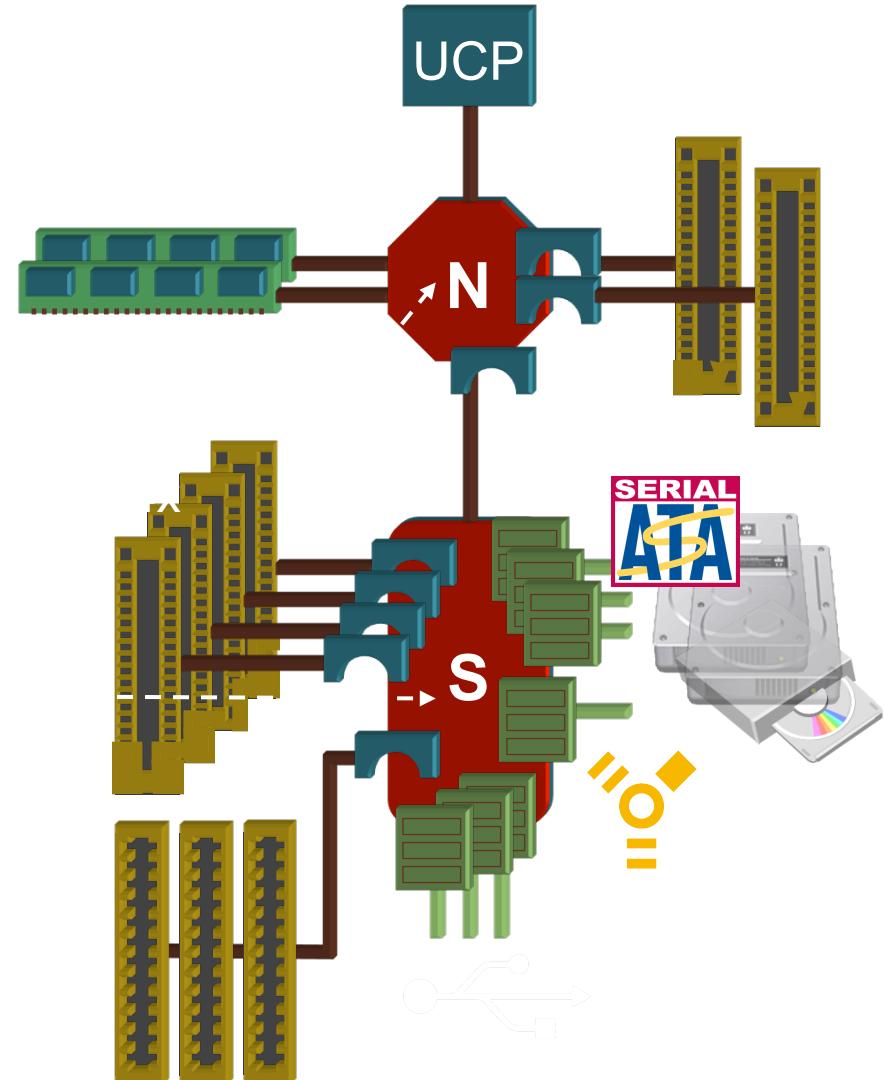
# Busos de perifèrics

- Bus Firewire (IEEE 1394, i.Link)
  - ✓ Bus de perifèrics de propòsit general
    - Fins a 63 perifèrics
  - ✓ Connexió sèrie. Topologia de margalida o arbre
    - Longitud màxima: 4,5 m un cable, 72 m el bus complet
  - ✓ Molt versàtil
    - Permet alimentar el perifèric
    - Permet interconnexió de computadors
    - Permet comunicació directa entre dos dispositius connectats al bus
    - Estàndard de vídeo professional
  - ✓ Versions i amplades de banda:
    - Firewire 400 Mbps (codificació 8 bits/byte)
    - Firewire 800 Mbps, 1600 i 3200 Mbps (codificació 8b/10b)

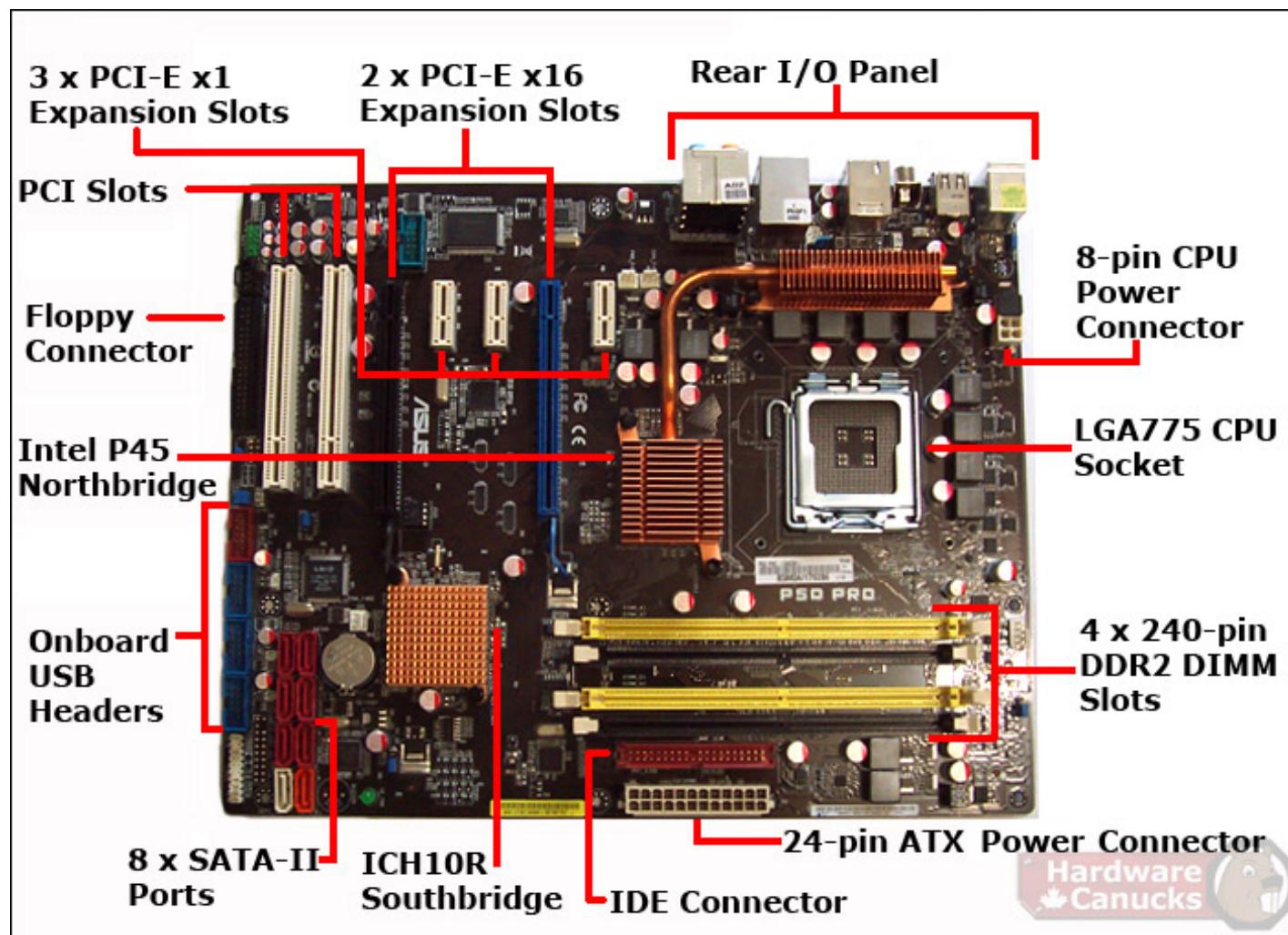


# Tendències

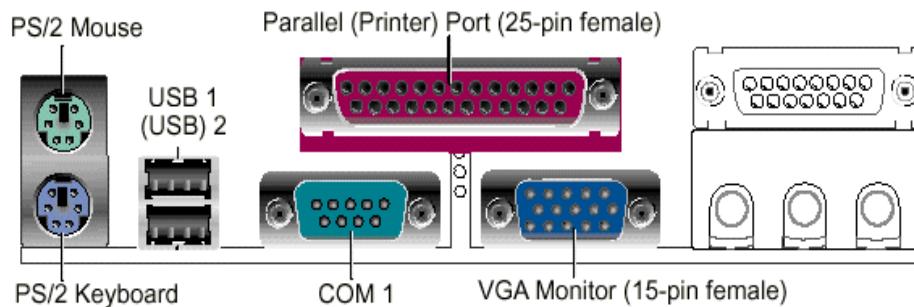
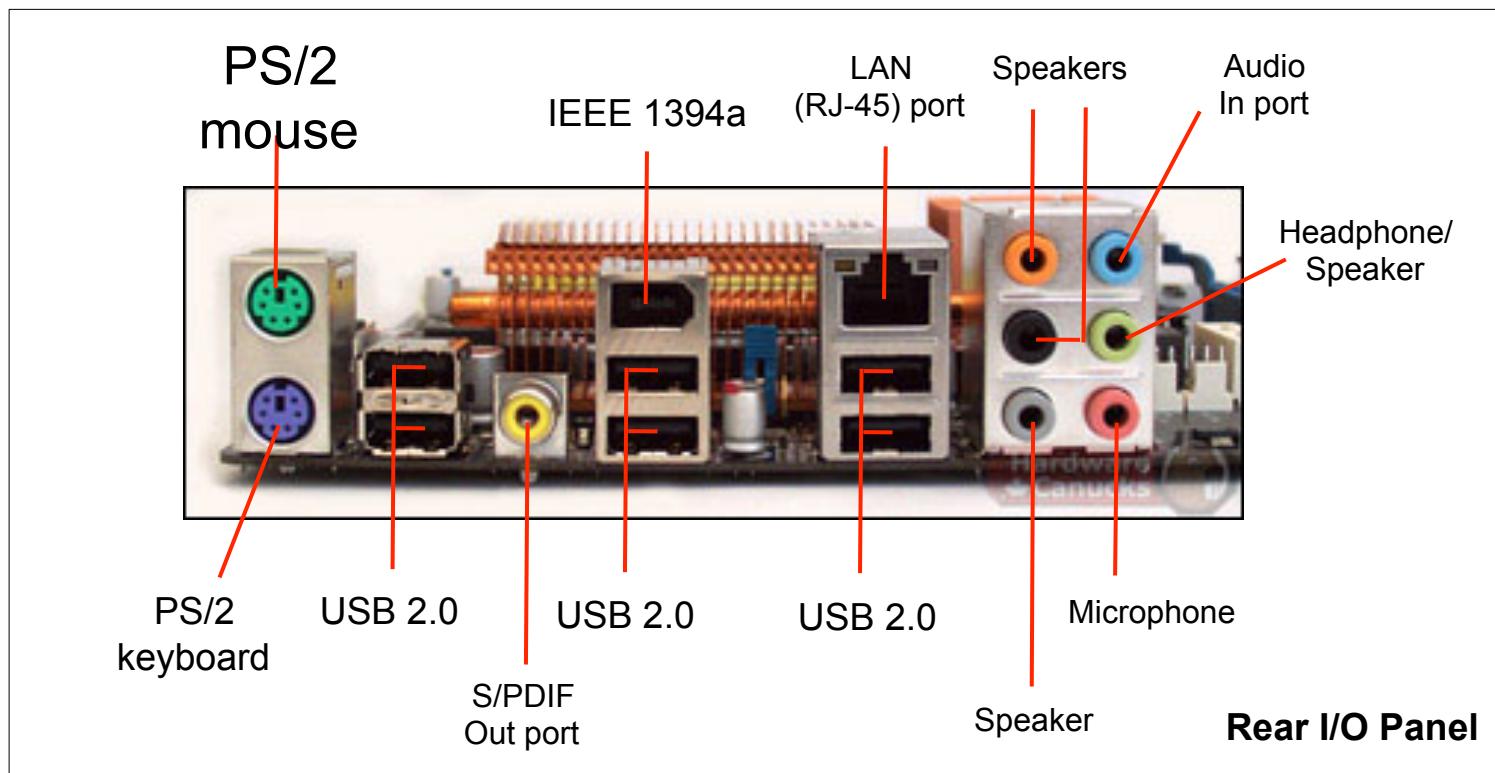
- Jerarquia de busos actual
  - ✓ El controlador del sistema o *northbridge* dóna accés directe als busos més ràpids (per a pantalla gràfica) i a dos canals de memòria DRAM
  - ✓ Un bus (sol ser propietari) connecta *northbridge* amb el *southbridge*
  - ✓ El *southbridge*, *system hub* o controlador d'entrada/eixida és una col·lecció de ponts i adaptadors de bus d'E/S



# Connectors en una placa base



# Connectors per a l'entrada/eixida

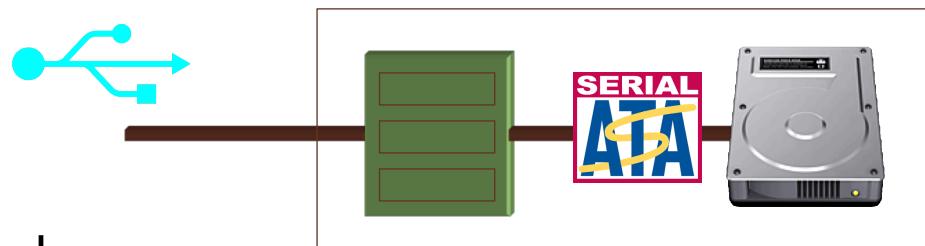


# Tendències

- Les unitats externes

- ✓ Amb adaptador de bus:

- Combinen un adaptador i una unitat òptica o de disc dur
    - L'adaptador fa la conversió entre bus d'entrada/eixida de propòsit general (USB, Firewire) i un bus específic (SATA)
    - La IOSTR (*Input-Output Data Transfer Rate*) aplicable és baixa perquè l'amplada de banda del bus USB és menor que la del SATA



- ✓ Sense adaptador de bus

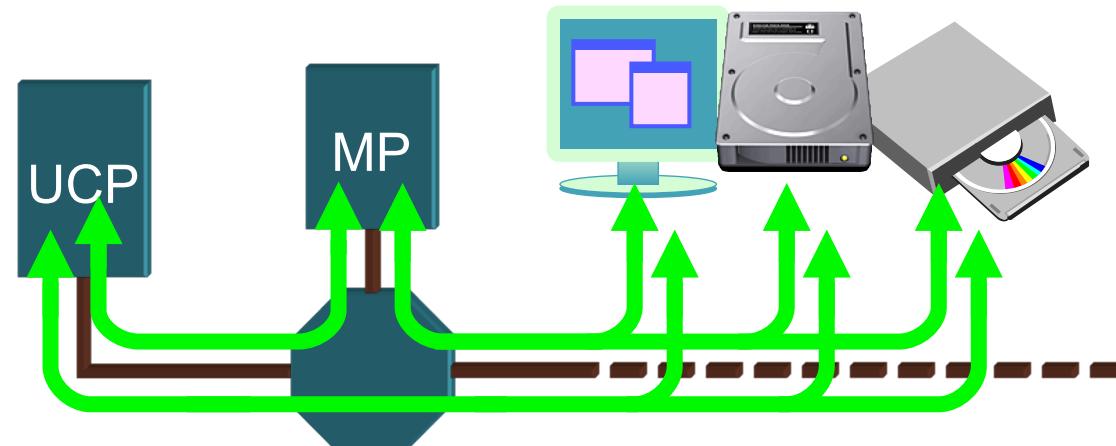
- Amb bus eSATA
    - La IOSTR aplicable és alta, superior a la SDTR (*Sustained Data Transfer Rate*)



# Transferències dins del computador

# Transferències en el computador

- El paper del controlador del sistema
  - ✓ La memòria principal és el recurs central
    - El processador hi llig les instruccions i hi fa lectura i escriptura de dades
  - ✓ Tot el tràfic passa pel controlador del sistema
    - Els dispositius de blocs que funcionen per ADM fan transferències del tipus MP↔perifèric
    - Els dispositius de blocs que fan transferències per programa (PIO) i els dispositius de caràcter fan intercanvis de la forma MP↔UCP↔perifèric.



# Transferències en el computador

## • Control del flux de dades

- ✓ El bus del sistema i molts busos d'entrada/eixida poden suportar diverses transferències al mateix temps
  - Els elements connectats a un bus competiran pel seu ús
  - Els controladors i àrbitres del bus multiplexen temporalment l'ús del bus entre les diverses transferències en curs
  - El consum total d'amplada de banda en un bus és la suma dels consums de les transferències que el fan servir
  - El consum total d'un bus no pot superar la seuva amplada de banda màxima. Si cal, l'arbitratge del bus reduirà les velocitats d'algunes o de totes les transferències, amb les conseqüències corresponents
- ✓ Quan una transferència implique més d'un bus, l'amplada de banda vindrà limitada pel bus més lent

# Transferències en el computador

- El paper del sistema operatiu

- ✓ Per a fer servir els perifèrics, els programes fan les crides a les funcions del SO.
  - Cal destacar les funcions de maneig del sistema d'arxius
- ✓ Les funcions del SO programen les interfícies dels perifèrics i fan les transferències (PIO o ADM) corresponents.
  - En el cas de les operacions amb el sistema d'arxius, el sistema farà operacions addicionals de manteniment (modificació dels directoris, gestió de les taules d'assignació, etc)
- ✓ En condicions ideals, hi ha una **amplada de banda teòrica**  $B_T$  que depén només que dels busos i dels perifèrics que participen en la transferència
- ✓ En la realitat, l'amplada de banda disponible és menor que la teòrica degut als temps de programació del perifèric, els conflictes d'arbitratge de bus i d'altres

# Transferències en el computador

- Aspectes de temps real

- ✓ Transferències sense restriccions de temps real

- la majoria dels casos: transferències d'arxius, lectura i escriptura en arxius, navegació per Internet, etc.
    - la transferència es fa a la màxima amplada de banda  $B$  disponible i el temps mínim teòric serà  $T = (\text{volum de les dades})/B_T$

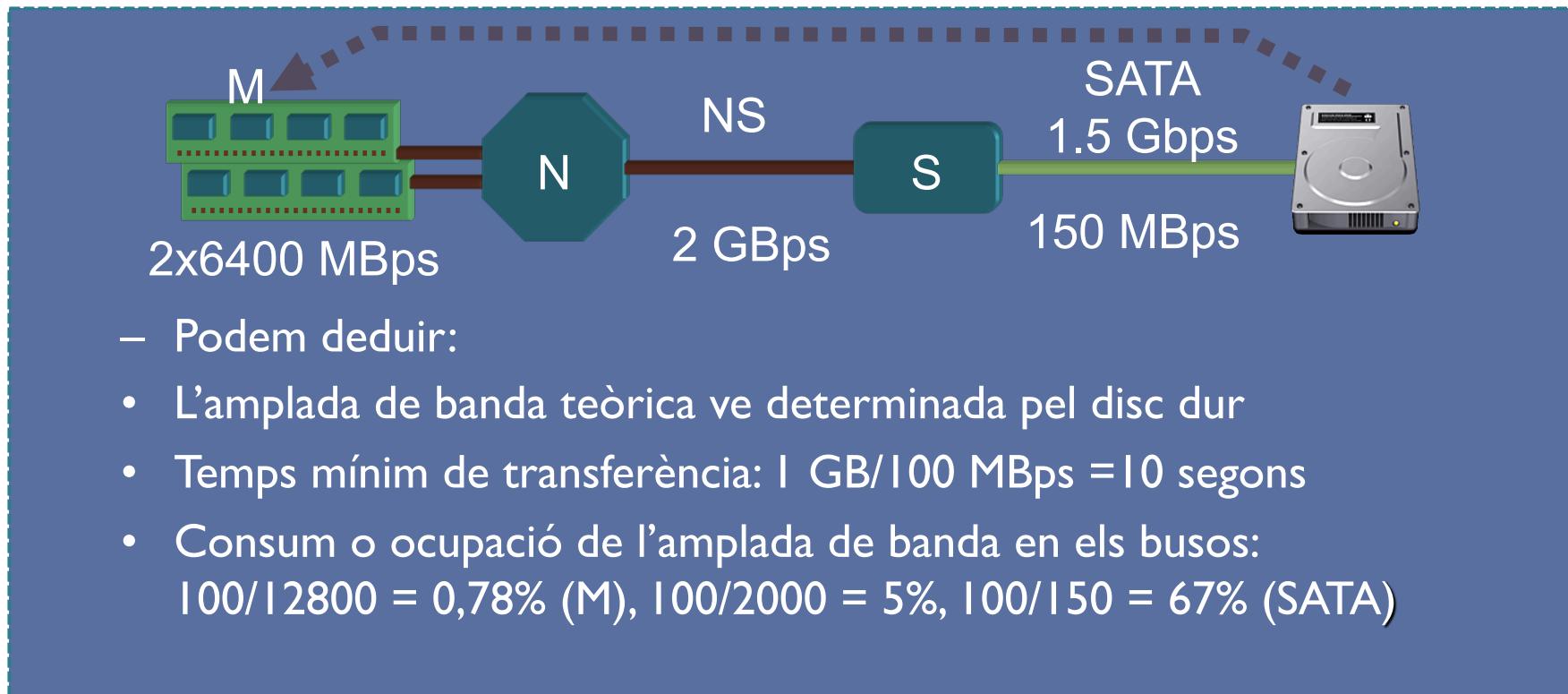
- ✓ Transferències amb restriccions de temps real

- és el cas de la multimèdia: reproducció i enregistrament d'àudio o vídeo, *streaming*, etc
      - cal satisfer restriccions de temps real (*fps* o quadres per segon en el vídeo, mostres per segon en el cas de l'àudio)
    - si l'amplada de banda disponible és suficient, les transferències es fan a la velocitat corresponent
    - si l'amplada de banda no és suficient, les transferències seran defectuoses i es perdran dades

# Exemples

## • Exemple I

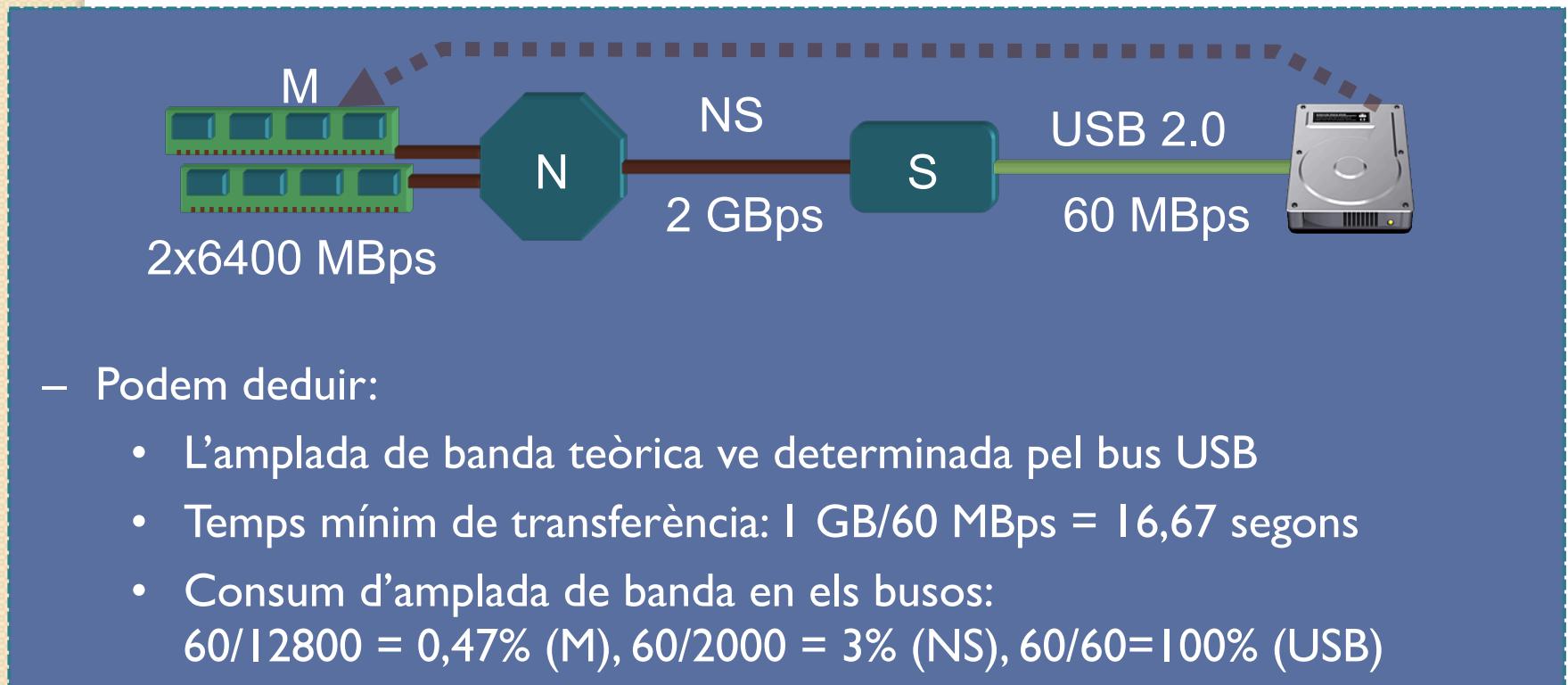
- ✓ Un programa obri un arxiu d'1 GB ( $10^9$  B) del disc dur intern (connectat al bus SATA 1.5 Gbps) i el llegeix completament
  - Característiques disc: 100 MBps (SDTR), transferència DMA



# Exemples

- **Exemple 2**

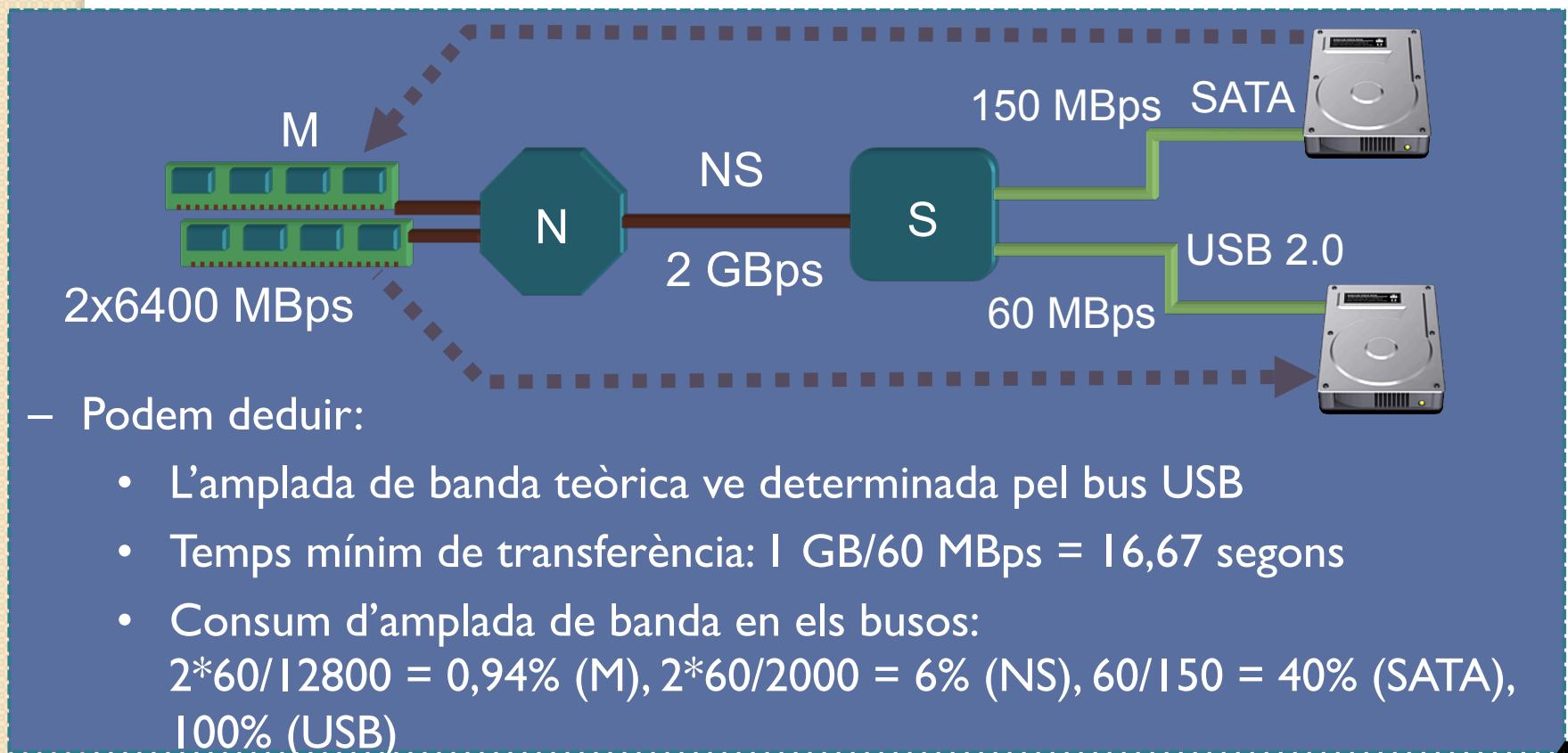
- ✓ Un programa obri un arxiu d'1 GB del disc dur extern (connectat per USB) i el llig completament
  - Característiques disc: 100 MBps (SDTR), transferència ADM



# Exemples

- Exemple 3

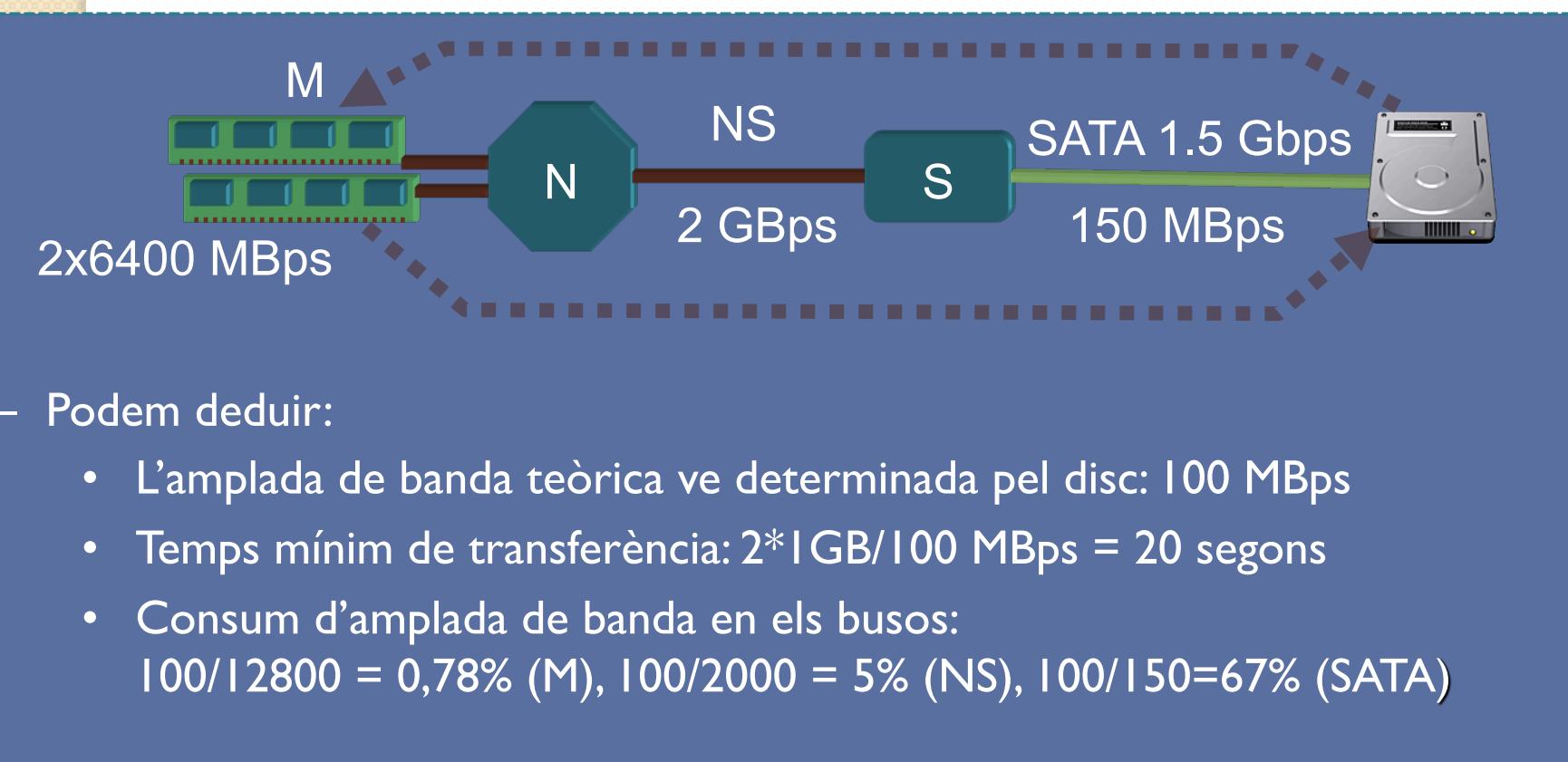
- ✓ Copiar un arxiu d'1 GB d'un disc dur (connectat al bus SATA 1.5 Gbps) a altre disc (connectat al bus USB 2.0)
- ✓ Característiques dels discs: 100 MBps (SDTR), transferència ADM



# Exemples

- **Exemple 4**

- ✓ Copiar un arxiu d'1 GB en el mateix disc dur (connectat al bus SATA 1.5 Gbps)
- ✓ Característiques disc: 100 MBps (SDTR), transferència ADM



# Exemples

- Exemple 5 (amb restriccions de temps real)

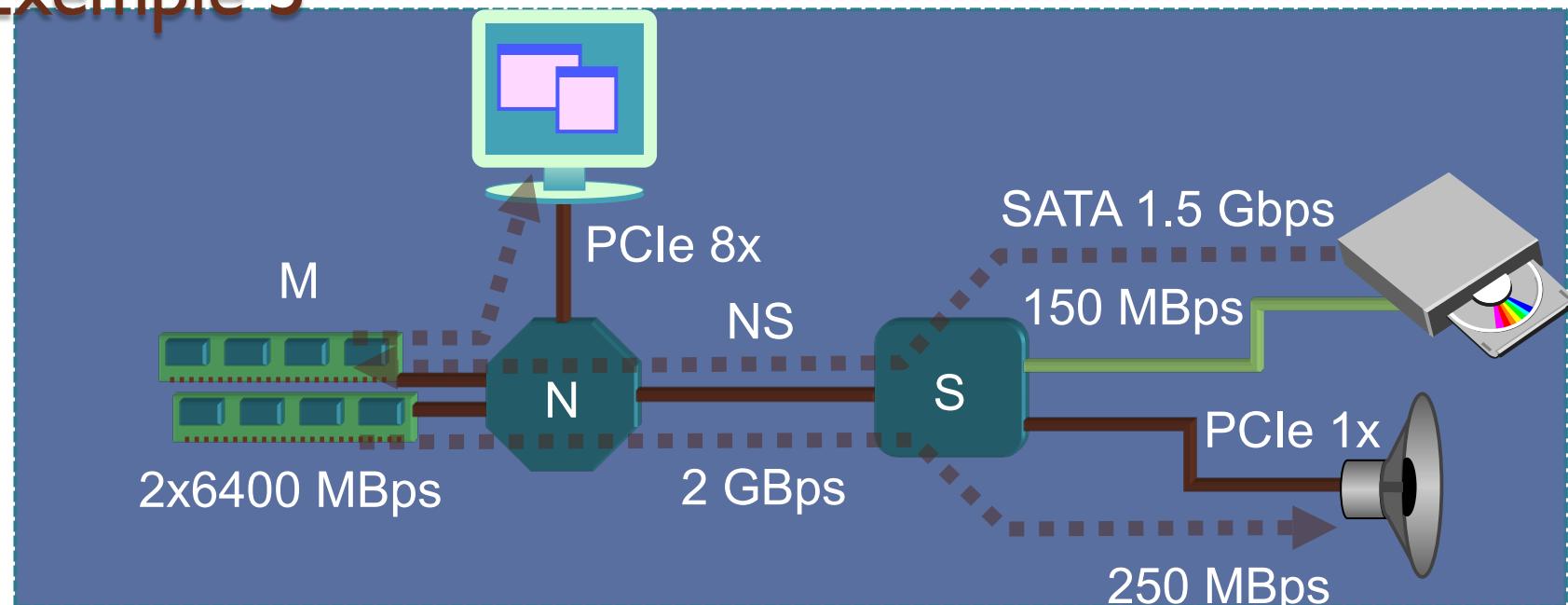
- ✓ Reproducció d'una pel·lícula en DVD

- Cal transferir el contingut (mpeg-2) del DVD a la MP
    - Mentrestant, el processador ha d'executar el codi del descodificador de mpeg-2 per a obtenir els quadres i l'àudio PCM
    - Cal transferir els quadres al monitor a la freqüència corresponent
    - Cal transferir l'àudio PCM a l'adaptador de so

- ✓ Context

- Pel·lícula de 30 fps (*frames per second*, quadres/s)
    - Codificació mpeg-2 a 10 Mbps
    - Suposem que el processador pot descodificar mpeg-2 a la velocitat requerida
    - Àudio 5.1 a 16 bits 48 KHz ( $5+1 = 6$  canals)
    - Monitor: 1600 x 1200 pixels, color de 24 bits (3 bytes per píxel)

## Exemple 5



- La transferència no està limitada pels busos
  - ✓ Lectura de DVD:  $10 \text{ Mbps} = 1,25 \text{ MBps}$
  - ✓ Pantalla gràfica:  $1600 \times 1200 \times 3 \times 30 = 172,8 \text{ MBps}$
  - ✓ Àudio:  $6 \times 48000 \times 2 = 576 \text{ KBps} = 0,576 \text{ MBps}$
- Ocupació:
  - ✓  $1,25/150 = 0,83\%$  (SATA);  $172,8/2000=8.6\%$  (PCIe gràfics);  $0,576/250 = 0,23\%$  (PCIe àudio);  $(1,25 + 0,576)/2000 = 0,091\%$  (NS);  $(1.25 + 0,576 + 172,8)/12800 = 0,14\%$  (M)

# Exemples

- Exemple 6 (amb restriccions de temps real)

- ✓ Context:

- Monitor 1920 × 1080 píxels, color de 24 bits
    - Disc dur de 100 MBps connectat a bus SATA de 3 Gbps

- ✓ Reproducció d'una pel·lícula muda d'alta definició (30 fps, 1920 × 1080 píxels, 24 bits de color) continguda en el disc dur sense comprimir

- A cada segon, cal llegir 30 quadres de 1920×1080×3 bytes del disc dur
    - No cal descodificar les imatges
    - A cada segon, cal escriure els 30 quadres en la memòria gràfica
    - L'amplada de banda de cadascuna de les dues transferències és de 186 MBps



La reproducció serà defectuosa  
El disc dur no ofereix prou amplada de banda: hi caldria emprar un RAID



**Fi**