

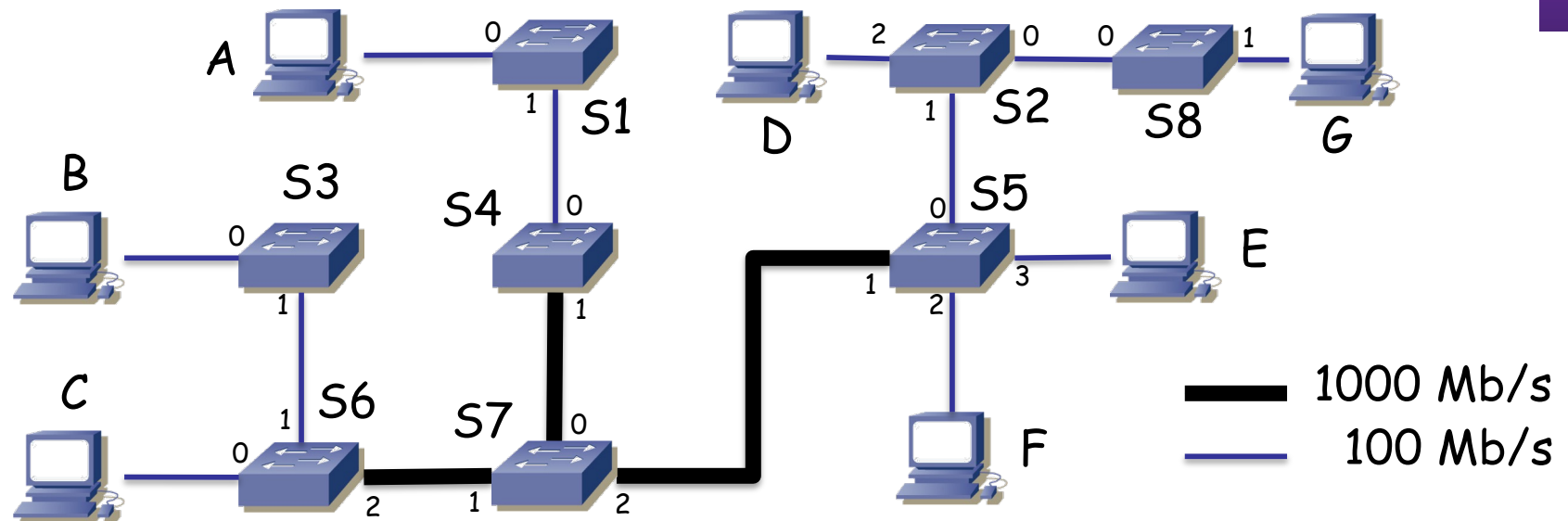
Retardo en redes

Area de Ingeniería Telemática
<http://www.tlm.unavarra.es>

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios

Conmutación

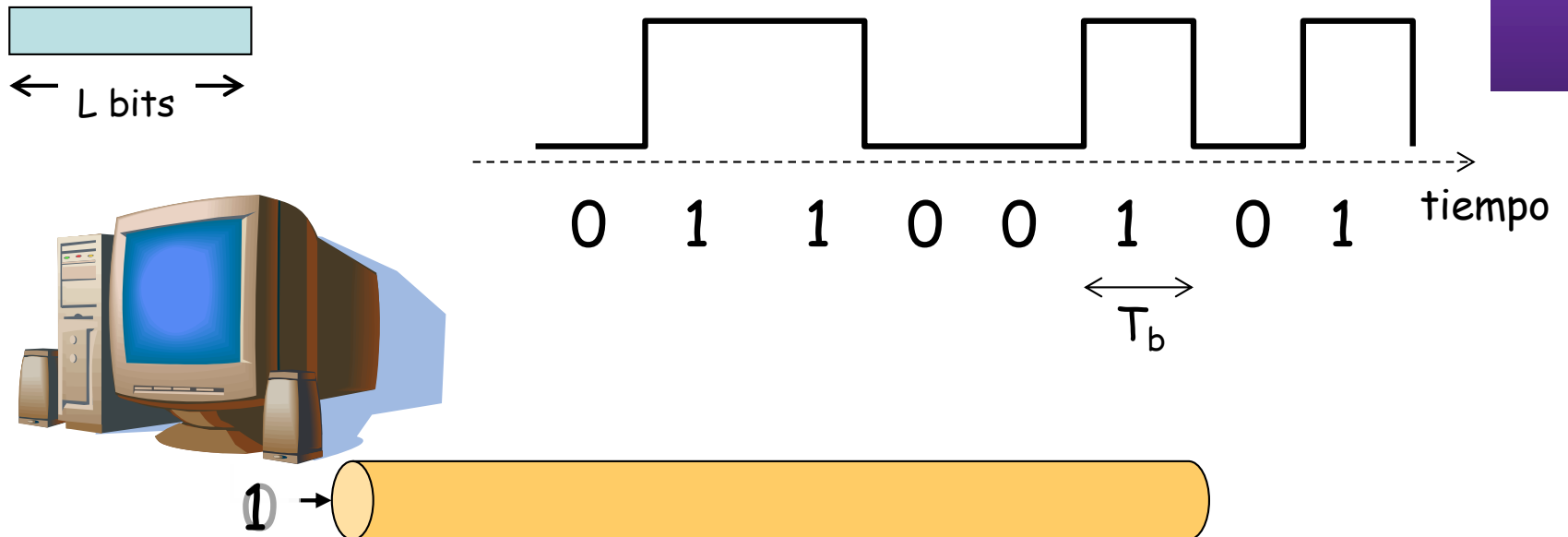
- Hemos visto conmutación de paquetes en dos tecnologías:
 - Ethernet (datagramas)
 - ATM (circuitos virtuales)
- Vamos a resolver ahora problemas generales que afectan a todas estas redes
- Por ejemplo: ¿Cuánto tiempo tarda un paquete en llegar de un host a otro?



Retardos en un enlace

Retardo de transmisión

- Tiempo que tarda el transmisor en colocar los bits en el canal
- También llamado retardo de serialización
- Bits por segundo (bps, b/s) (...)
- Ejemplo:
 - Longitud del paquete $L = 1500 \text{ Bytes} = 12000 \text{ bits}$
 - Tasa de transmisión $R = 57600 \text{ b/s}$
 - $T_b = 1 / 57600 = 0.00001736 = 17.36 \times 10^{-6} \text{ s} = 17.36 \mu\text{s}$
 - Tiempo de transmisión = $L/R = 12000 \text{ bits} / 57600 \text{ b/s} \approx 208 \text{ ms}$

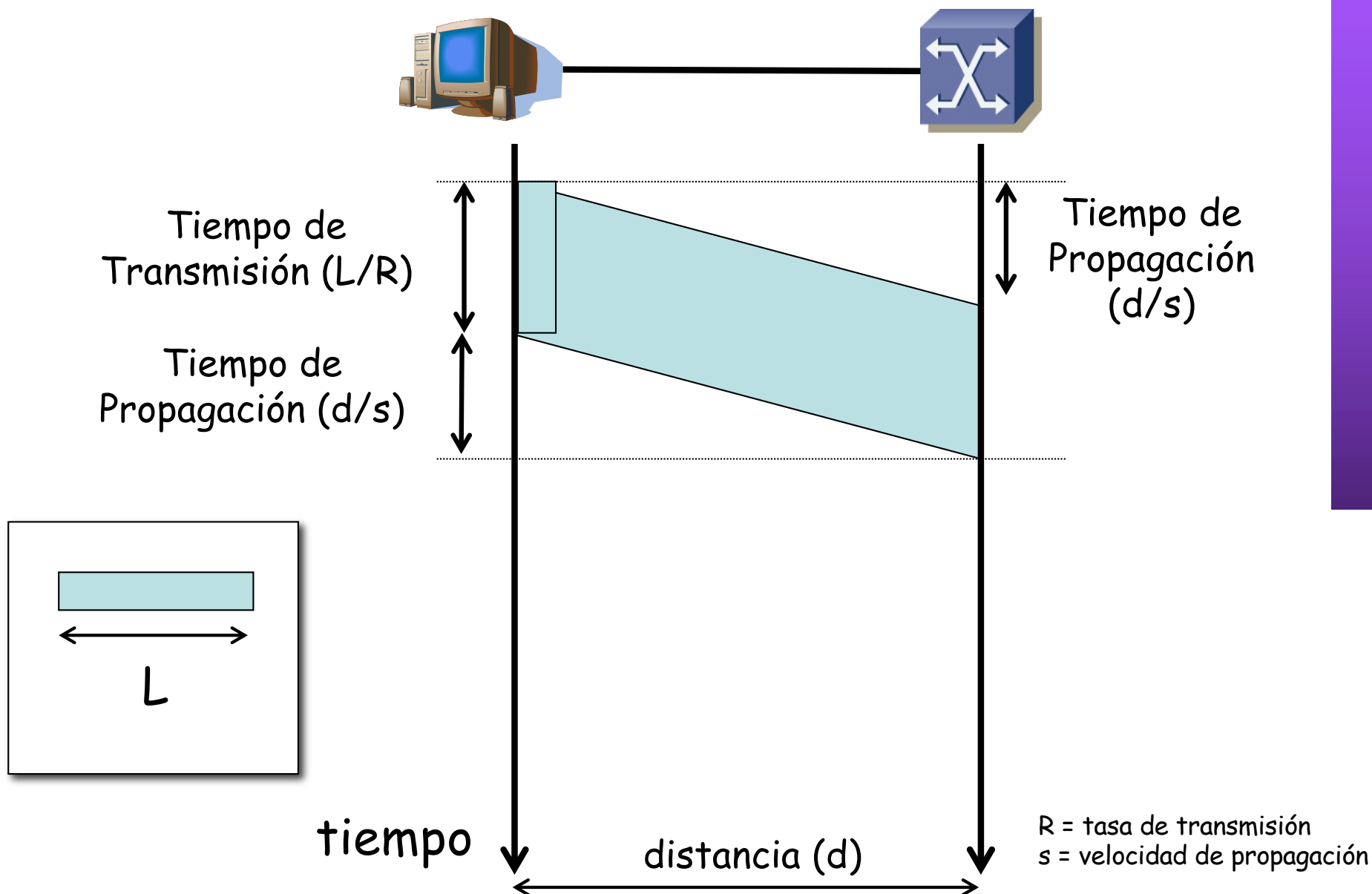


Retardo de propagación

- Tiempo que tarda la señal en llegar al otro extremo del sistema de transmisión (...)
- Ejemplo:
 - Longitud del enlace físico $d = 2000 \text{ Km}$
 - Velocidad de propagación en el medio $s = 200000 \text{ Km/s}$
 - Retardo de propagación $= d/s = 2 \times 10^6 \text{ m} / (2 \times 10^8 \text{ m/seg}) = 10 \text{ ms}$
- La velocidad de transmisión y la velocidad de propagación son conceptos muy diferentes
- Velocidad de propagación en Km/s
 - En coaxial en torno a 250000 Km/s
 - En fibra óptica en torno a 200000 Km/s



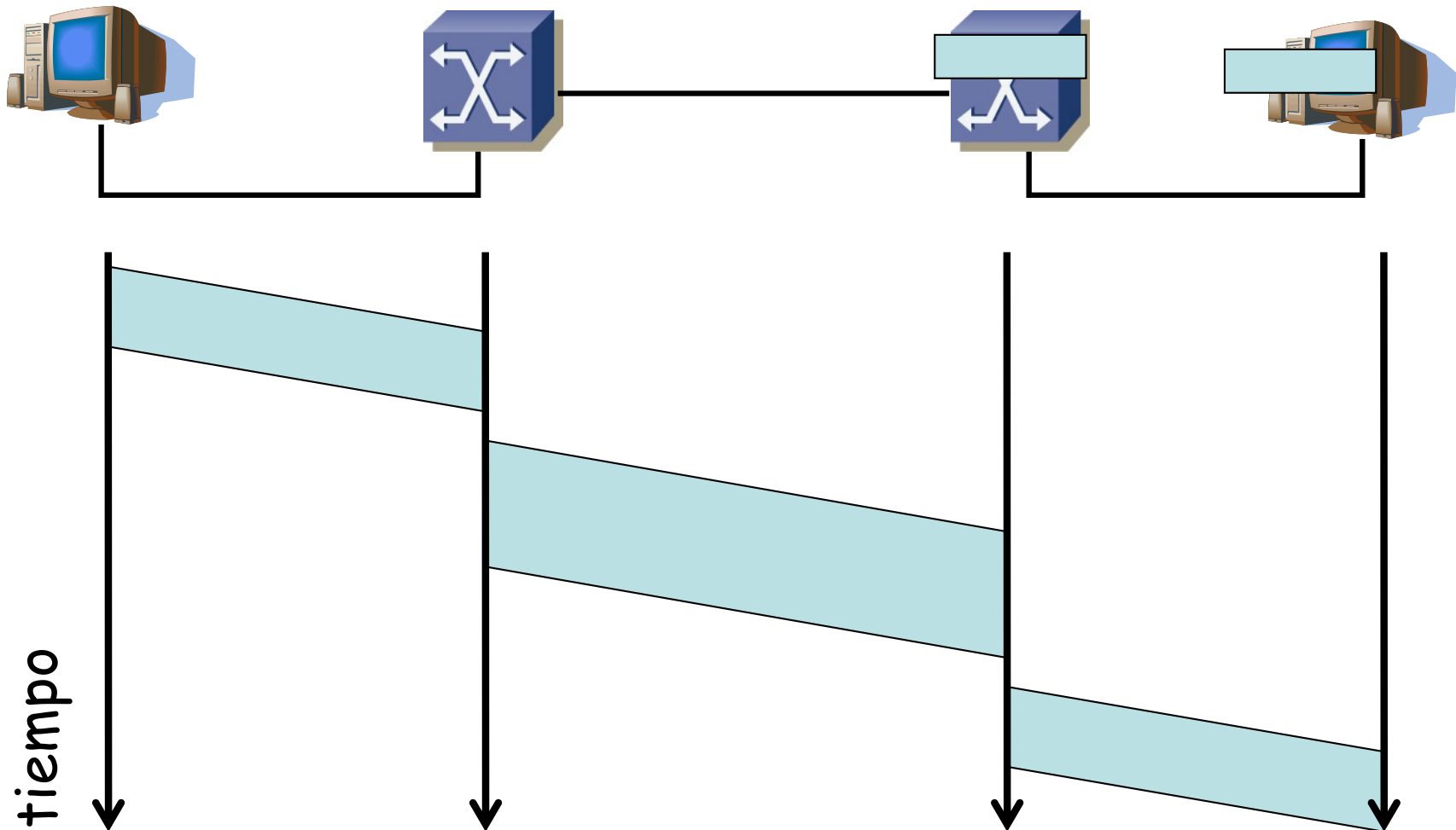
Retardos de transmisión y propagación



Retardo con varios “saltos”

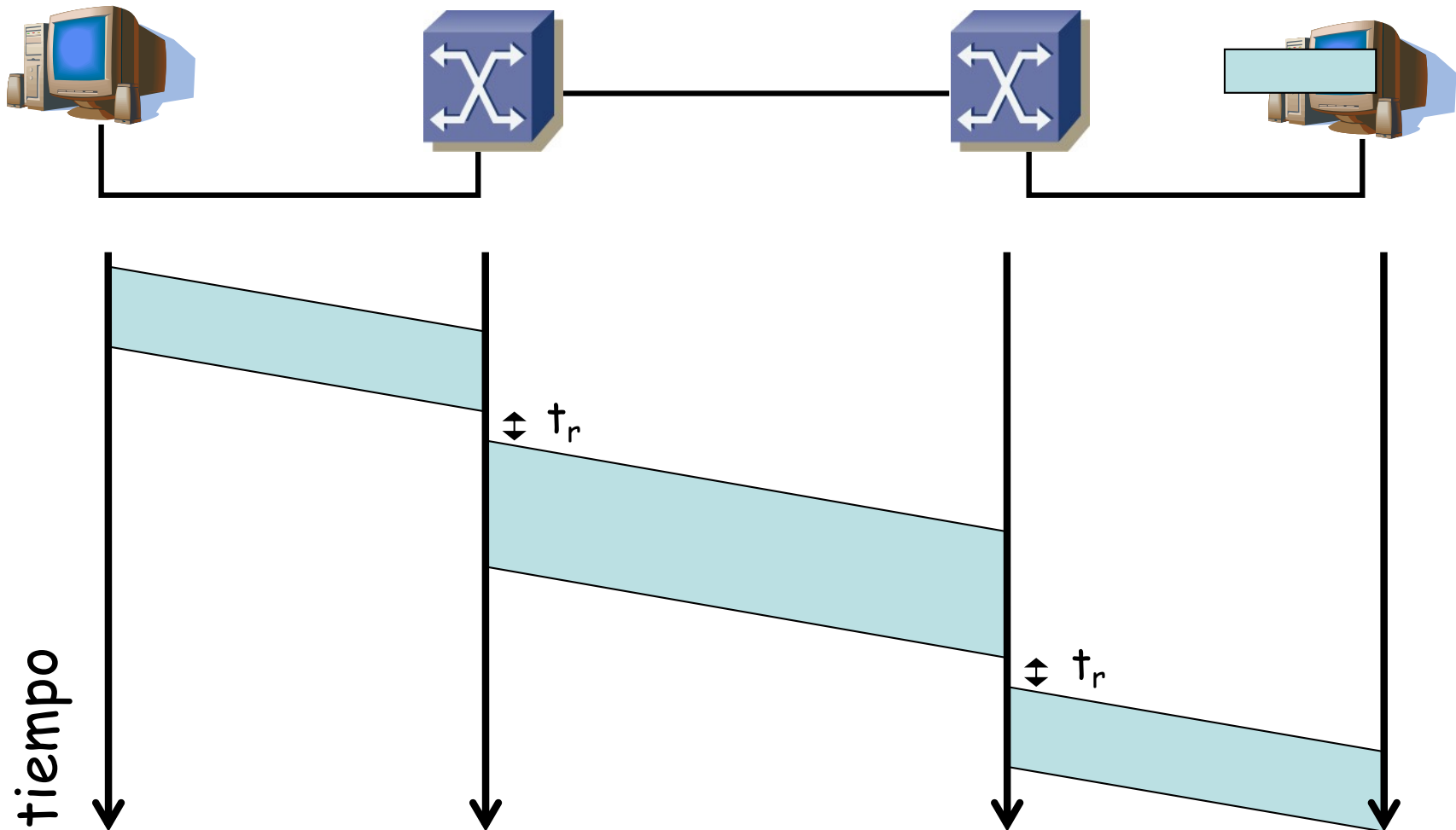
Store-and-forward

- El paquete completo debe llegar al conmutador de paquetes antes de que lo pueda retransmitir (. . .)



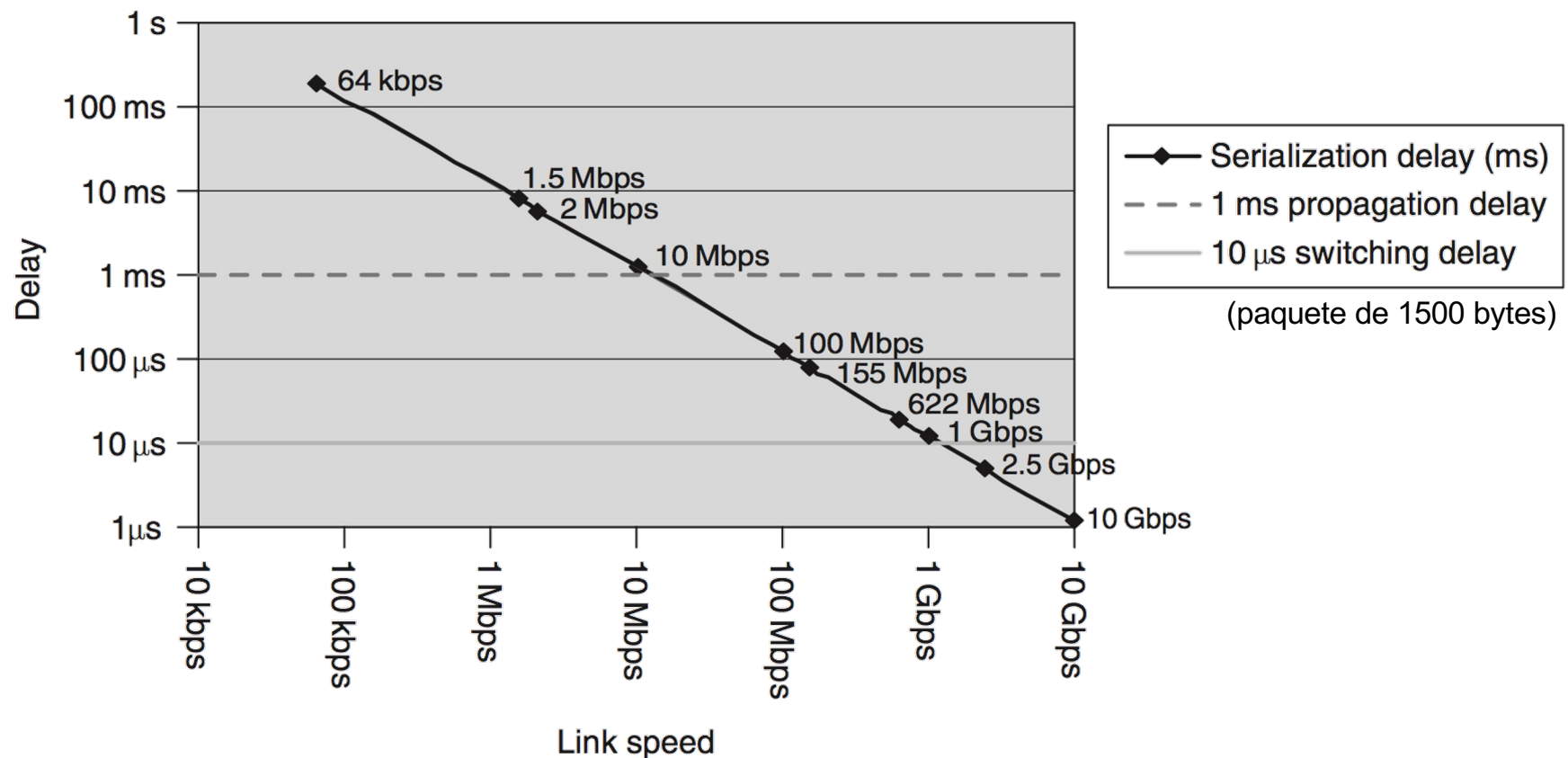
Tiempo de procesamiento

- El conmutador debe tomar una decisión para cada paquete, la cual lleva tiempo (t_r)



Comparativa

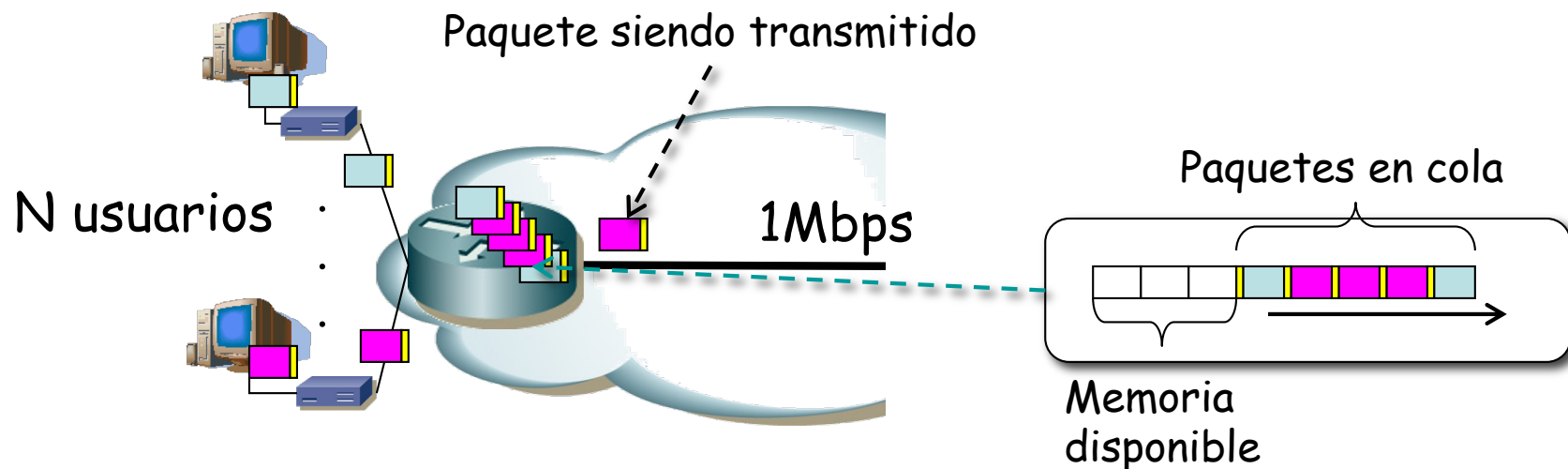
- El tiempo de transmisión (retardo de serialización) domina o no frente al de propagación según la velocidad de transmisión
- Y según la distancia del enlace ($1\text{ms} @ 300000\text{Km/s} = 300\text{Km}$)



Retardo con más tráfico

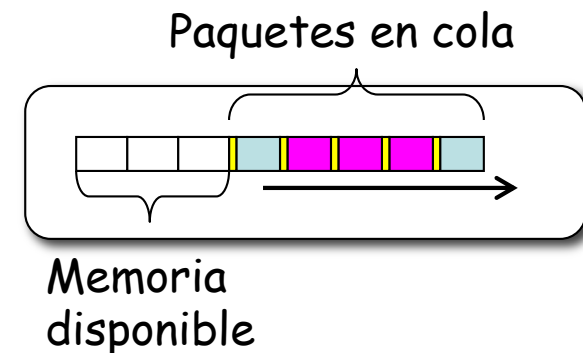
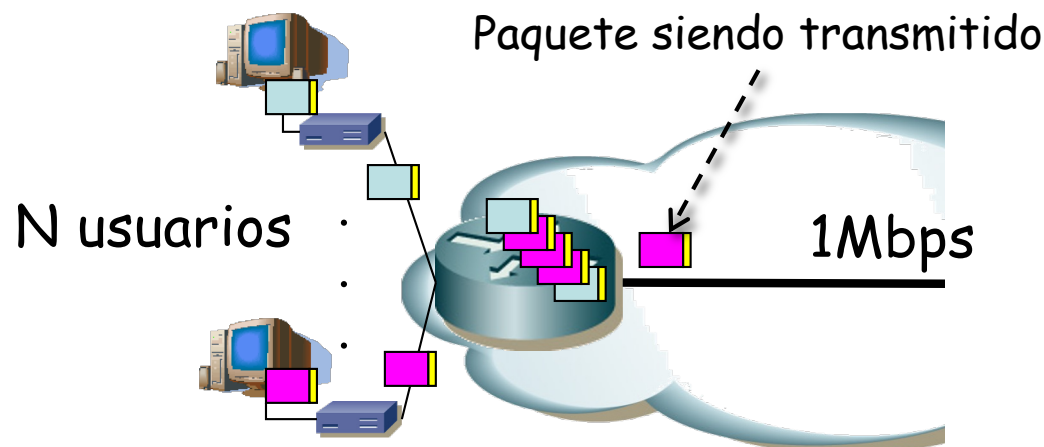
Retardo en cola

- Los paquetes pueden llegar al conmutador a una velocidad mayor que la capacidad del enlace de salida
- O pueden llegar varios simultáneamente por enlaces diferentes
- El conmutador los almacena en memoria hasta poder enviarlos
- Esperan en una *cola* (normalmente en el interfaz de salida)
- Si no queda espacio en memoria para almacenar un paquete, normalmente éste se pierde (*drop-tail policy*)
- Hablamos de situaciones de “congestión” (habrá pérdidas y mayor retardo)



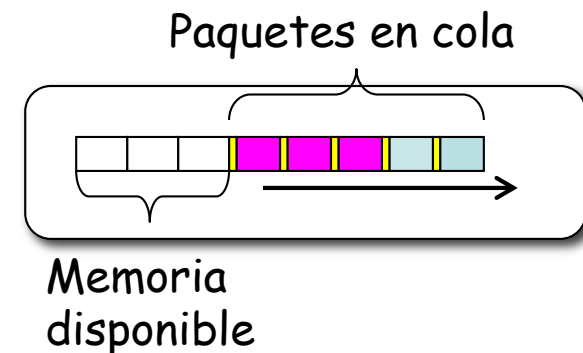
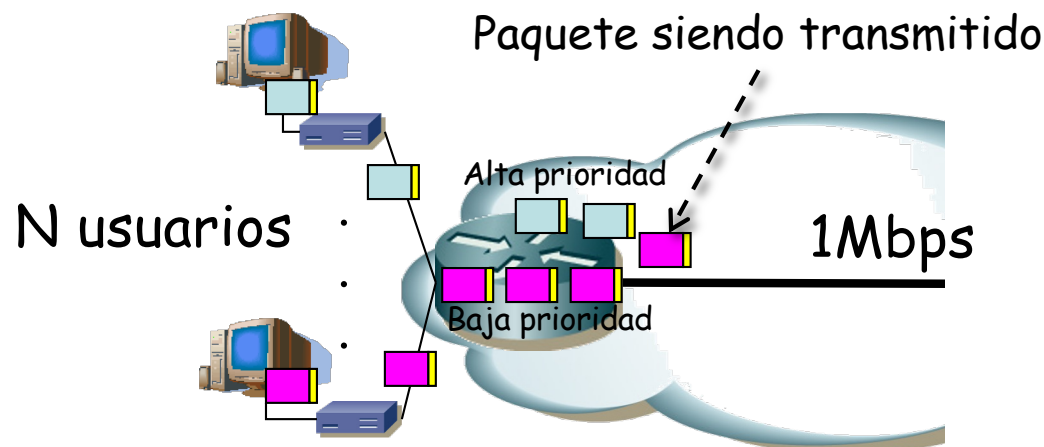
Planificación

- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- FCFS: *First Come First Served*
 - También llamado FIFO (First In First Out)
 - Trato equitativo a diferentes flujos/usuarios/aplicaciones
 - Un paquete que requiera bajo retardo (voz) tiene que esperar a que se sirvan todos los anteriores en la cola
 - Asegurar límites en el retardo requiere caracterizar todas las fuentes de tráfico



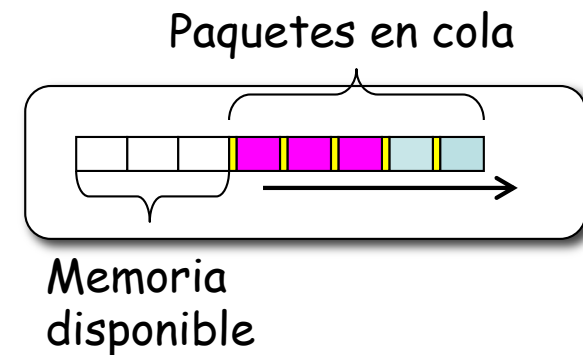
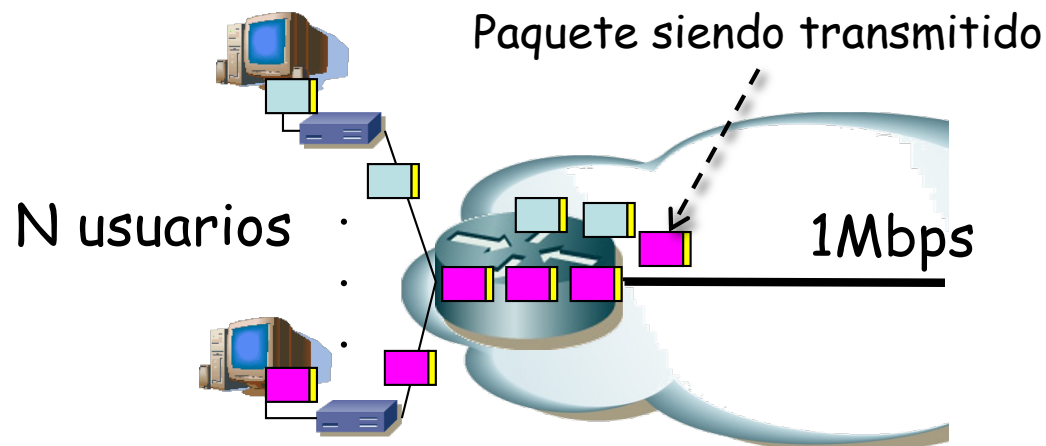
Planificación

- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- **¿Otras alternativas?**
- **Prioridades:**
 - Clasificar los paquetes de entrada
 - Cada clase tiene una prioridad diferente
 - Solo se envían paquetes de una clase si las clases de prioridad superior no tienen paquetes en la memoria del router



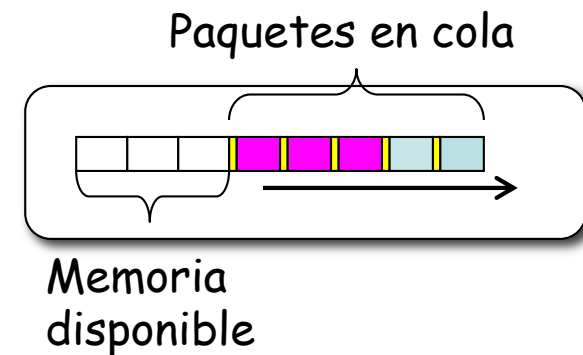
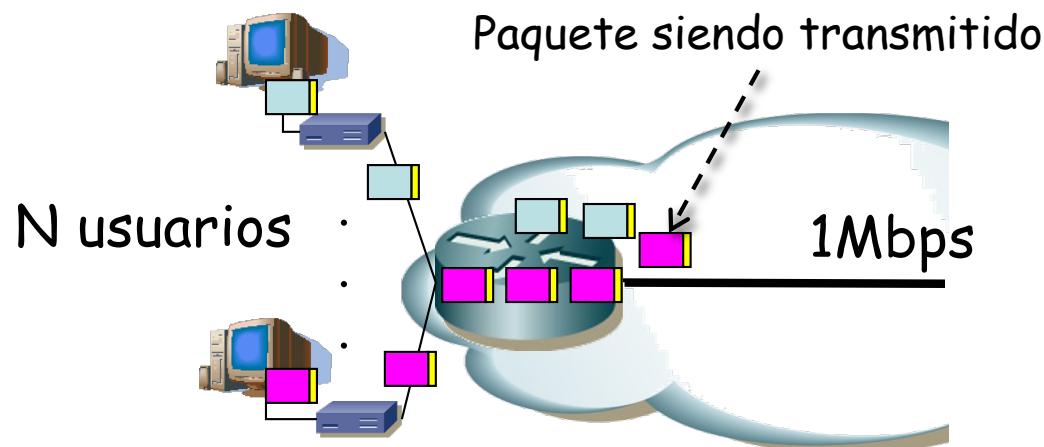
Planificación

- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- **¿Otras alternativas?**
 - Round Robin
 - Weighted Round Robin
 - Deficit Round Robin
 - Generalized Processor Sharing
 - Weigthed Fair Queueing
 - ...



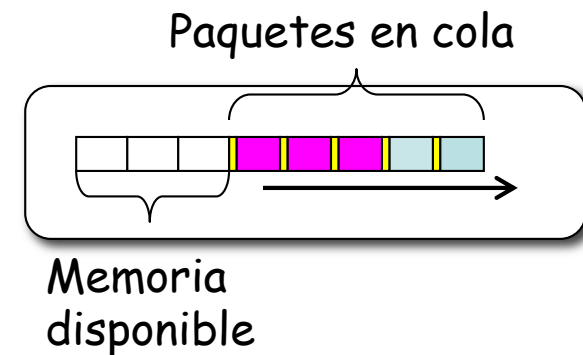
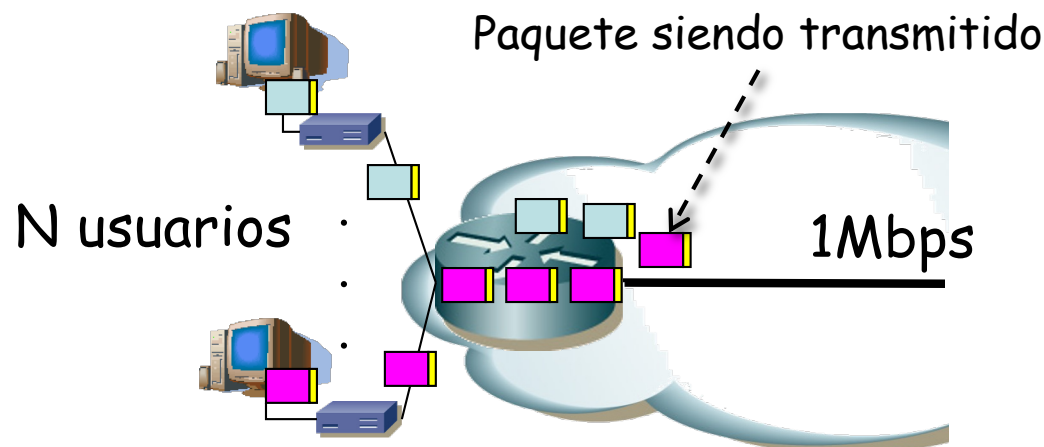
Planificación

- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- ¿Otras alternativas?
- **Buscan:**
 - Hacer un reparto “justo” (*max-min fair*)
 - Protección: un flujo no pueda acaparar todos los recursos
 - Asegurar límites (al retardo, jitter, pérdidas...) predecibles
 - Simplicidad de implementación



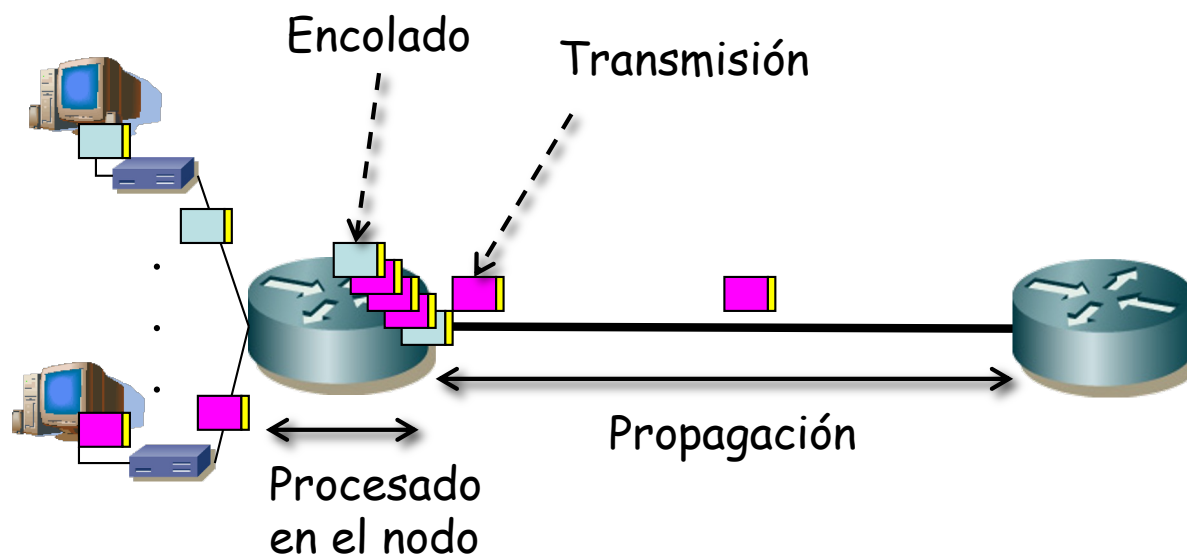
Planificación

- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- ¿Otras alternativas?
- **Necesario para:**
 - Ofrecer Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*)



Resumen de retardos

Retardos



$$d_{\text{nodo}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{cola}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{proc} = tiempo de procesado

- Unos μs

d_{cola} = retardo en cola

- Depende de la congestión

d_{trans} = retardo transmisión

- $= L/R$, significativo en enlaces de baja velocidad

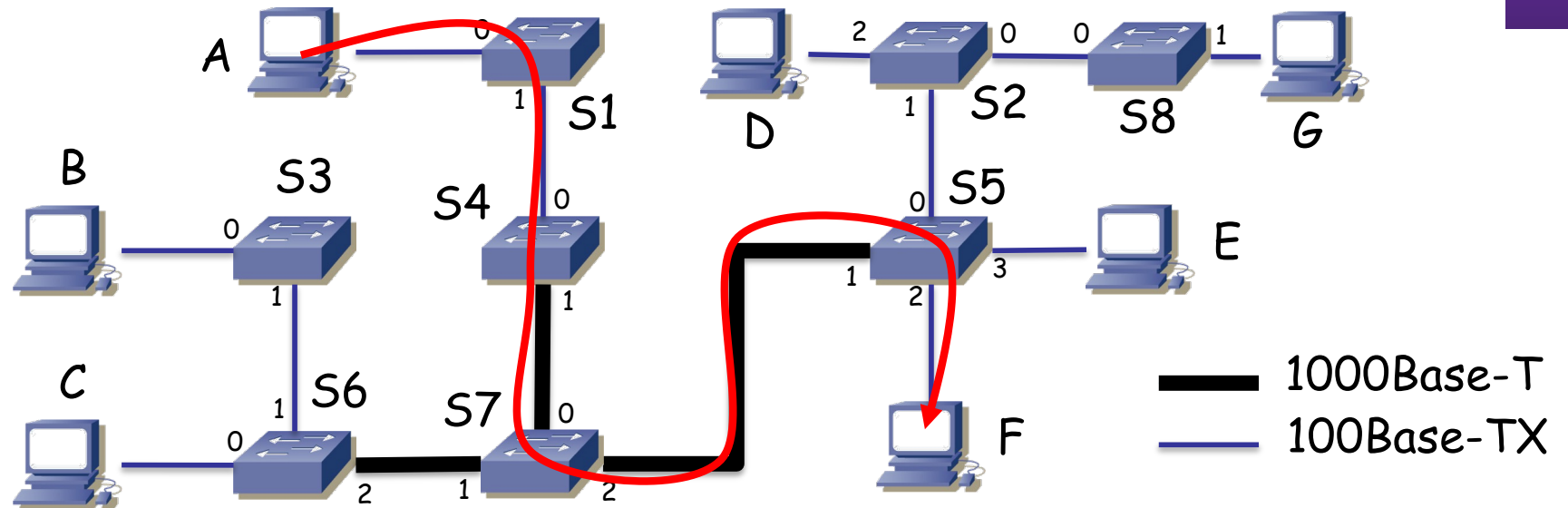
d_{prop} = retardo propagación

- De unos μs a centenares de ms

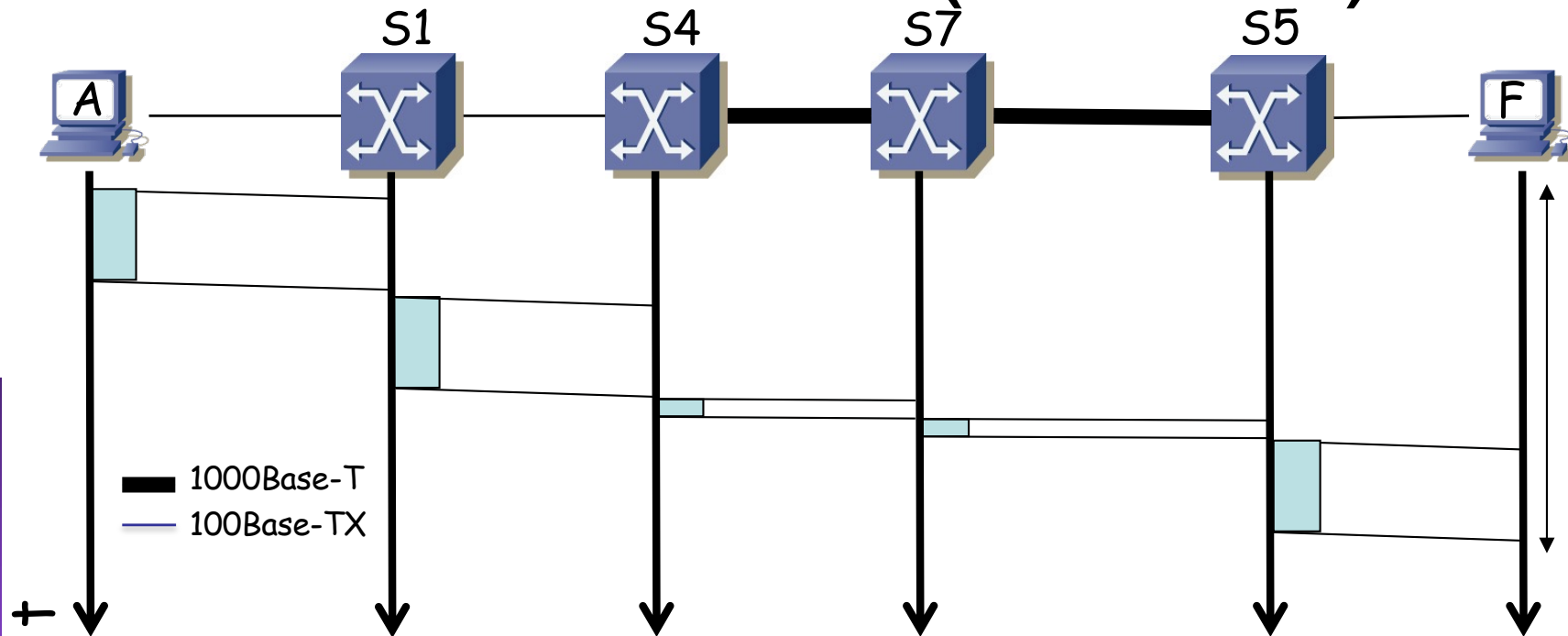
Ejemplo

Enunciado

- Calcule el tiempo mínimo y máximo que tardará una trama en alcanzar su destino
- PC A → PC F

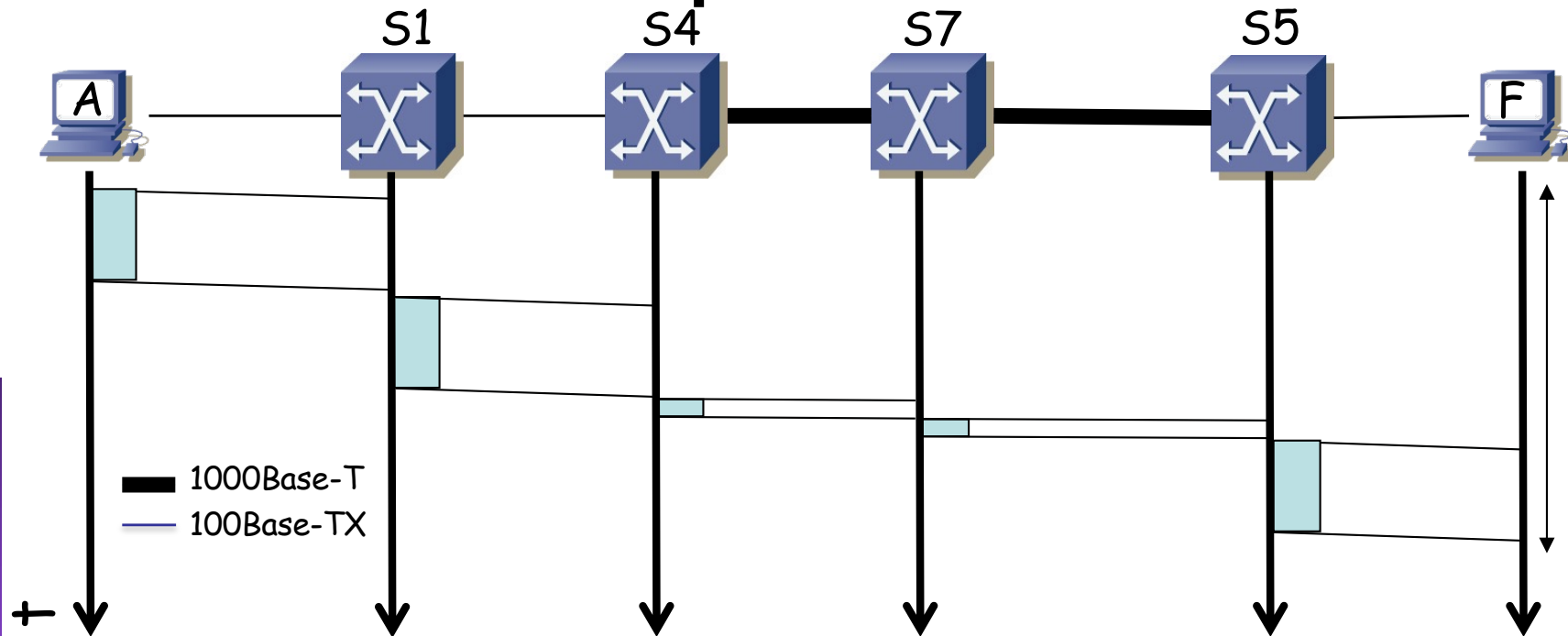


Transmisión (mínimo)



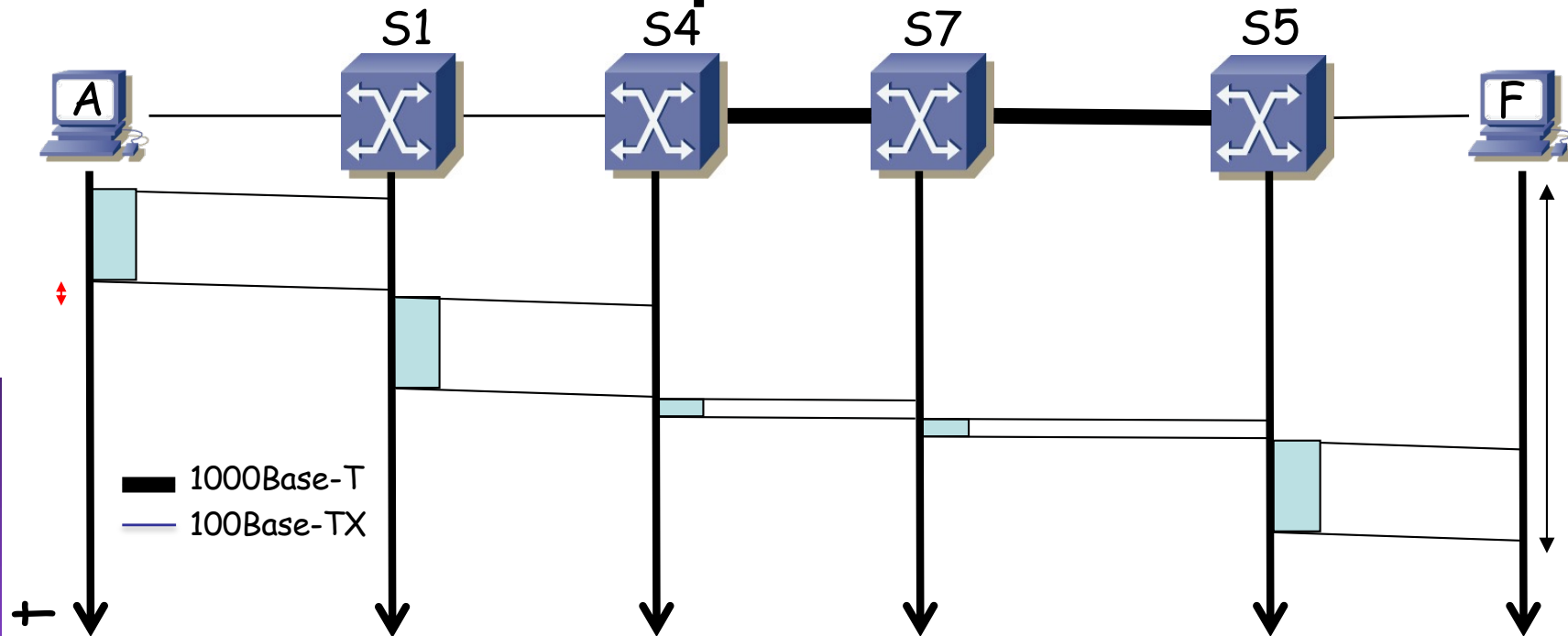
- 3 enlaces a 100Mb/s, 2 enlaces a 1Gb/s
- El tiempo mínimo se dará con la trama de tamaño mínimo
- 64 bytes @ 100Mb/s = 5.12μs
- 64 bytes @ 1Gb/s = 0.512μs
- Total de tiempos de transmisión: **5.12 + 5.12 + 0.512 + 0.512 + 5.12 = 16.384μs** (domina el efecto de los 100Mb/s)

Tiempo mínimo



- Será con los cables de mínima longitud (tiempo de propagación despreciable)
- Enlaces des congestionados (sin paquetes en cola)
- Y conmutadores con tiempo de conmutación despreciable en comparación con el resto de factores

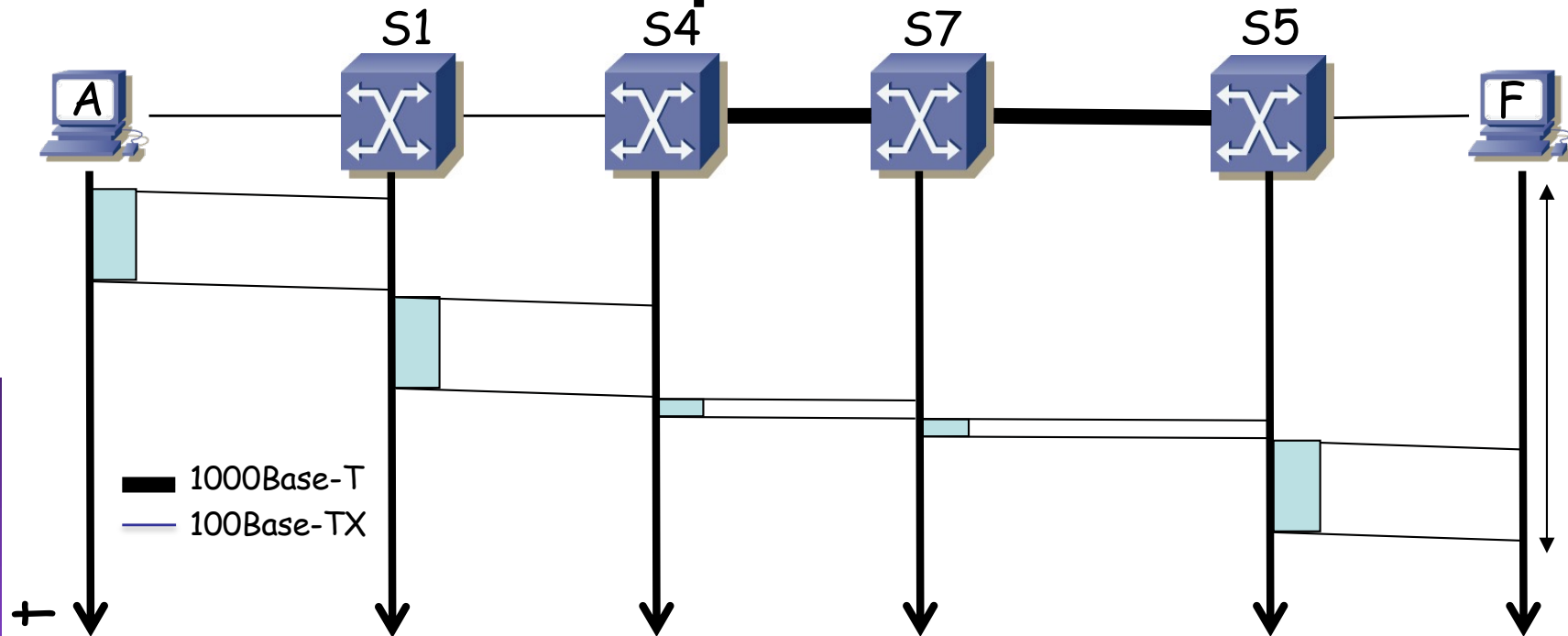
Tiempo mínimo



- Total de tiempos de transmisión: 16.384µs
- ¿El tiempo de propagación puede ser despreciable?
- Cable de 1m : $1\text{m} / 210000\text{Km/s} = 0.0048\mu\text{s}$
- $0.0048\mu\text{s} \times 5 \text{ saltos} = 0.024\mu\text{s}$
- Subimos a unos 16.4µs (para cables de 1m)

Velocidad de propagación del cable
Ethernet depende del tipo de cable

Tiempo mínimo



- 16 μ s ¿El tiempo de conmutación puede ser despreciable en comparación con eso?
- Tenemos conmutadores con tiempos sub- μ s

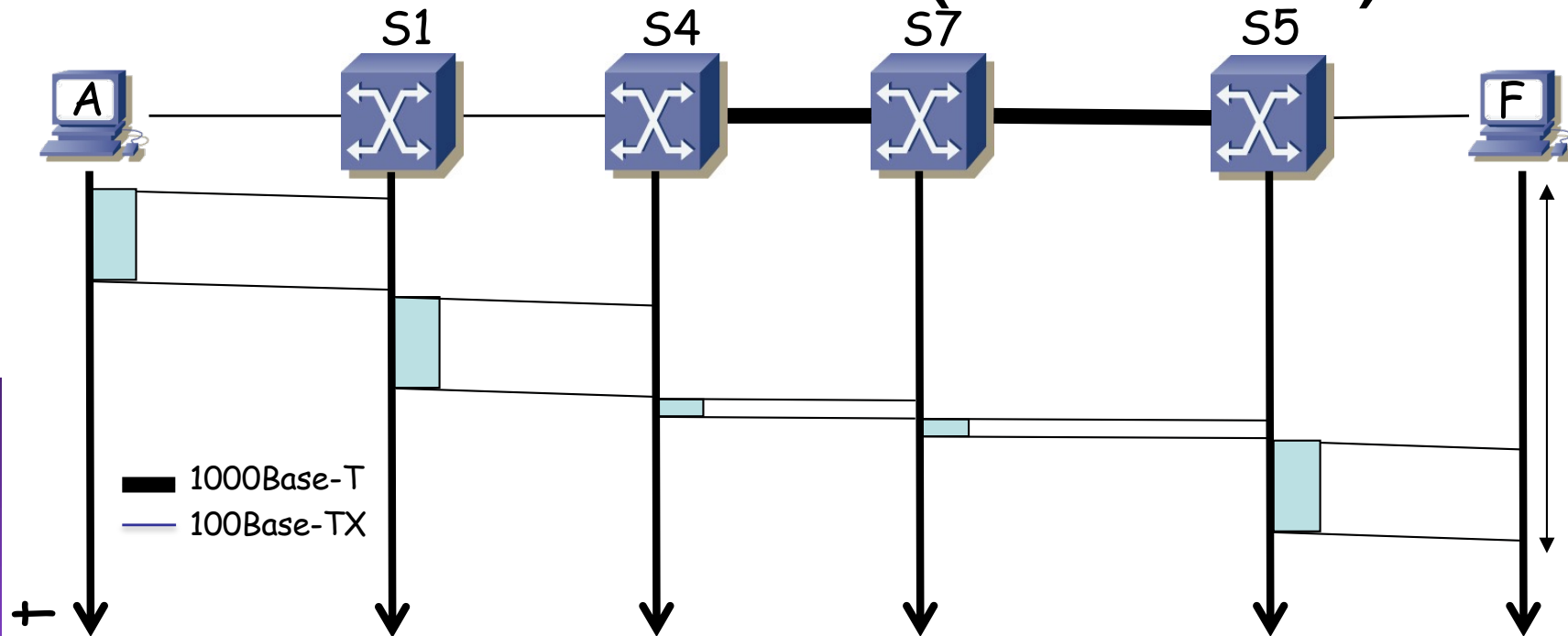
QFX5120-48Y

The QFX5120-48Y is a 25GbE/100GbE data center leaf and campus distribution switch featuring:

- 48 25GbE (SFP28)/10GbE (SFP+)/1GbE (SFP) downlink ports
- Eight 100GbE (QSFP28)/40GbE (QSFP+) uplink ports
- Up to 2/4 Tbps (uni/bidirectional) of L2 and L3 performance, with latency as low as 800 nanoseconds
- A 2.2 GHz quad-core Intel CPU with 16 GB memory and 50 GB SSD storage

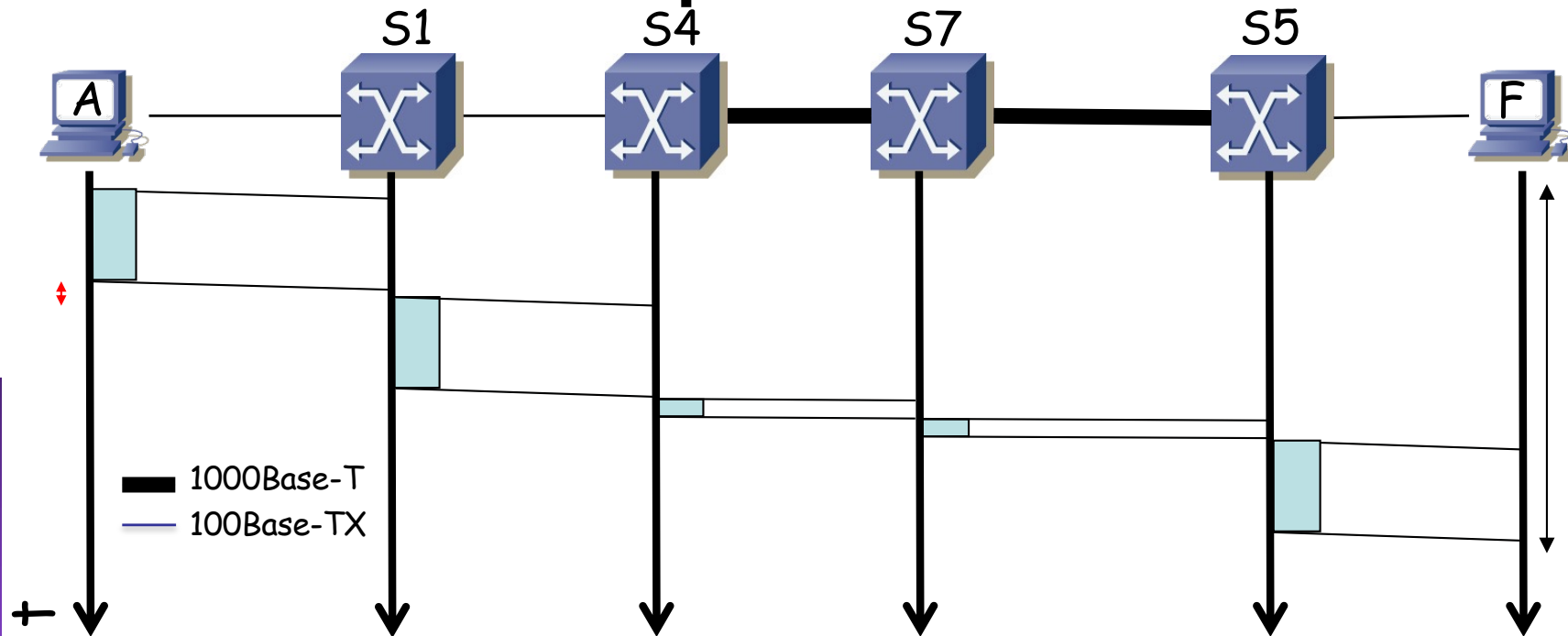


Transmisión (máximo)



- 3 enlaces a 100Mb/s, 2 enlaces a 1Gb/s
- El tiempo máximo se dará con la trama de tamaño máximo
- 1518 bytes @ 100Mb/s = 121.44μs
- 1518 bytes @ 1Gb/s = 12.144μs
- Total de tiempos de transmisión: **121.44 + 121.44 + 12.144 + 12.144 + 121.44** ≈ 388.6μs

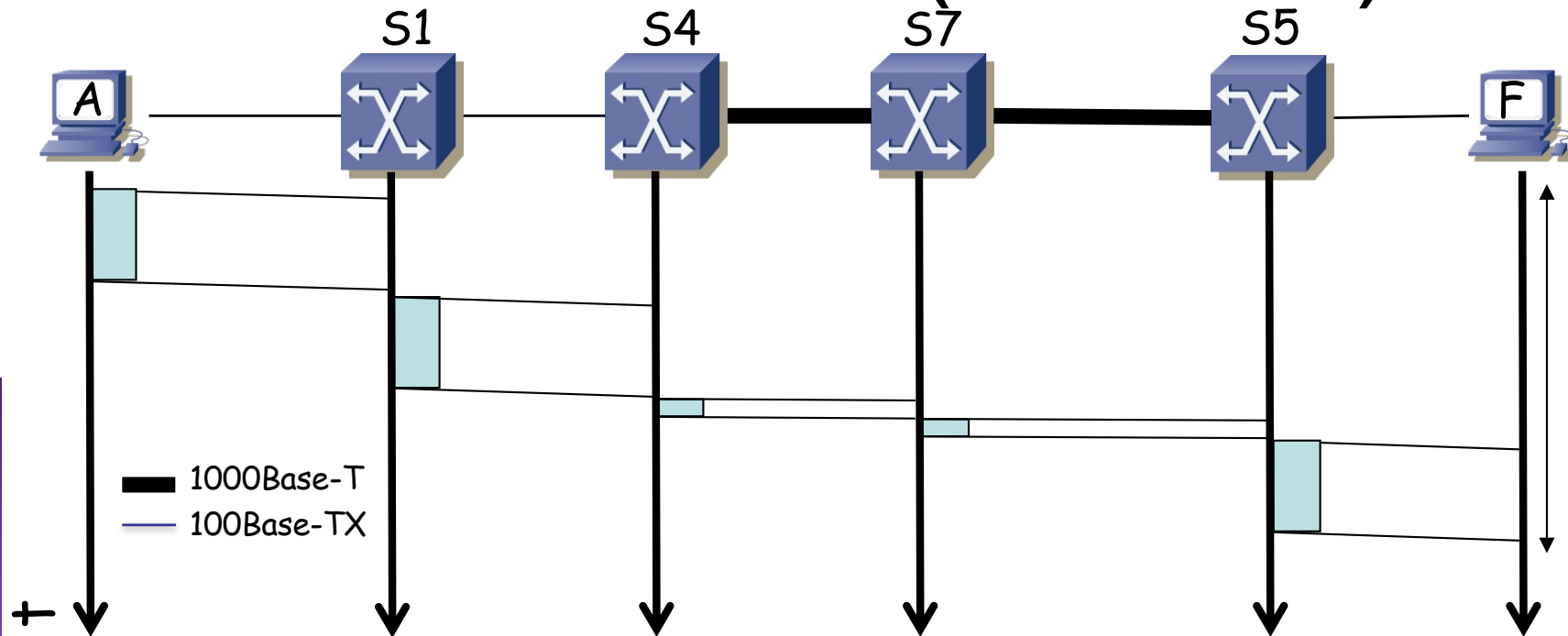
Tiempo máximo



- Total de tiempos de transmisión: 388.6µs
- Esas tecnologías máximo de 100m de cable
- $100\text{m} / 210000\text{Km/s} = 0.48\mu\text{s}$
- $0.48\mu\text{s} \times 5 = 2.4\mu\text{s}$
- Subimos a unos 391µs

Velocidad de propagación del cable
Ethernet depende del tipo de cable

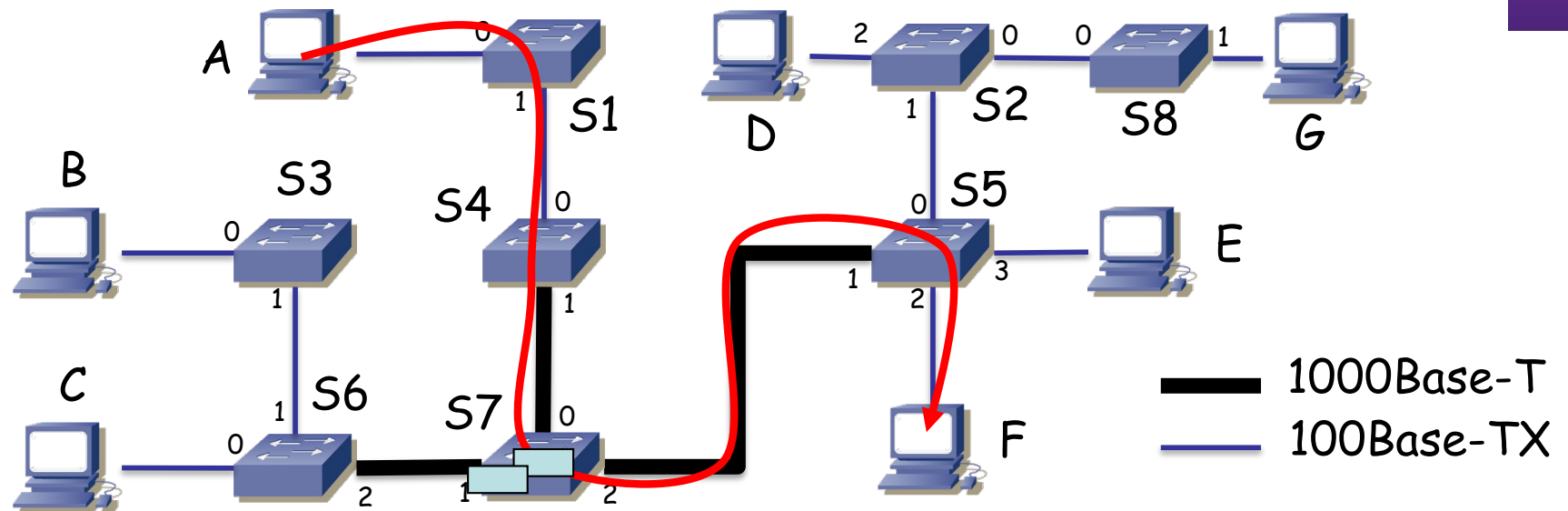
Transmisión (máximo)



- Transmisiones y propagación: $391\mu\text{s}$
- Despreciamos procesamiento aunque podría ser de unos μs (depende del equipo)
- ¿Retardo en cola? Máximo tiempo será con enlaces congestionados. ¿Pueden congestionarse?

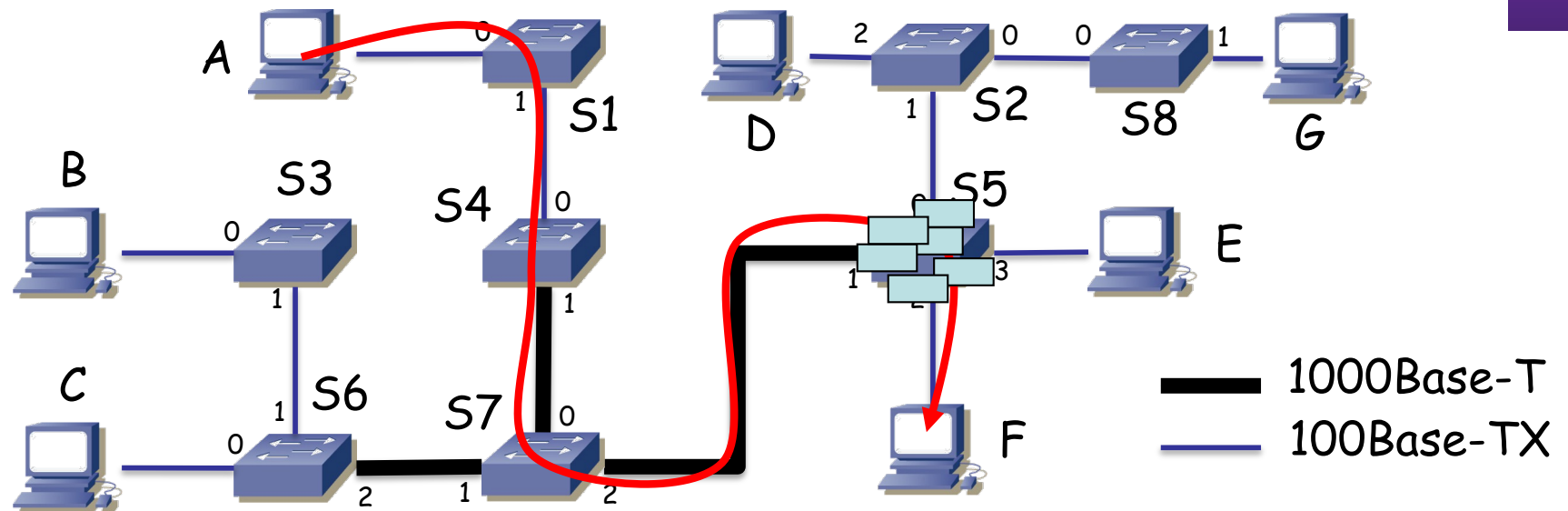
Retardo en cola

- Suponemos que no hay más hosts que los mostrados
- Y que A no ha enviado más tráfico
- En S7 podríamos encontrar paquetes de B y C hacia S5
 - Si A no ha enviado antes, lo que viene desde S6 no se puede acumular en S7 ya que llegan a 1Gb/s y salen a 1Gb/s
 - Sí podemos encontrar el último paquete de B o C que justo iba a empezar a transmitirse
 - Con muy mala suerte tenemos que esperar a 2 pkts de tamaño máximo
 - $2 \times 1518 \text{ bytes} @ 1 \text{ Gb/s} = 24 \mu\text{s}$



Retardo en cola

- En S5 podrían haberse acumulado muchos paquetes de B o C que se dirigieran a D, E, F o G (también alguno de D, E o G hacia F y otros)
- Llegan por un puerto a 1Gb/s (y otros) y salen por 3 puertos a 100Mb/s
- En realidad, en este ejemplo solo puede venir por el puerto de 1Gb/s tráfico de A, B y C, cada uno limitado a 100Mb/s
- Eso quiere decir que no pueden llegar más de 300Mb/s
- Si hubiera más usuarios esto empeoraría hasta poder saturar el enlace de 1Gb/s (es suficiente con 10 usuarios a 100Mb/s)
- Se puede estar acumulando tráfico en S5 hasta saturar su buffer



Retardo en cola

- El paquete de A puede tener que esperar a que se envíe todo lo que hay antes en buffer en el switch para salir por el puerto hacia F
- Esto depende mucho de cómo gestione el switch su memoria y el reenvío de paquetes que vengan de diferentes puertos
- Podemos tener buffers de varios megabytes
- Suponiendo un buffer de 32MB, que justo el paquete de A encuentra sitio y que los paquetes acumulados van todos hacia F:
- 32 MB @ 100Mb/s ≈ 2.68 s (ojo, ¡segundos!)
- Los tiempos de propagación y transmisión sumaban: $391\mu\text{s} \approx 0.4\text{ms}$
- Es decir, el resto del tráfico puede hacer que el retardo extremo a extremo aumente en un factor x6000 (!!!)



- **Intelligent buffer management:** The QFX5120 features a total of 32 MB of shared buffers. While 25% of the total buffer space is dedicated, the rest is shared among all ports and is user configurable. The intelligent buffer mechanism in the QFX5120 effectively absorbs traffic bursts while providing deterministic performance, significantly increasing performance over static allocation.

Relación entre retardos

Resumiendo

- Tiempo mínimo se da con mínimo tamaño de trama, sin más tráfico, distancias cortas $\approx 16\mu\text{s}$
- Tiempo máximo con máximo tamaño de trama, pero sin más tráfico, distancias cortas (cable 100m) $\approx 390\mu\text{s}$
- La diferencia es por los tiempos de transmisión de los paquetes y principalmente en los enlaces de baja velocidad

Resumiendo

- Tiempo mínimo se da con mínimo tamaño de trama, sin más tráfico, distancias cortas $\approx 16\mu\text{s}$
- Tiempo máximo con máximo tamaño de trama, pero sin más tráfico, distancias cortas (cable 100m) $\approx 390\mu\text{s}$
- La diferencia es por los tiempos de transmisión de los paquetes y principalmente en los enlaces de baja velocidad
- ¿El retardo de propagación puede ser apreciable?
- Enlace de 80 Km de fibra @ $200000\text{Km/s} \approx 400\mu\text{s}$
- Cable transatlántico: 6000Km @ $200000\text{Km/s} \approx 30\text{ms}$
- Satélite geoestacionario: 2x 36000Km @ $300000\text{Km/s} \approx 240\text{ms}$

Resumiendo

- Tiempo mínimo se da con mínimo tamaño de trama, sin más tráfico, distancias cortas $\approx 16\mu s$
- Tiempo máximo con máximo tamaño de trama, pero sin más tráfico, distancias cortas (cable 100m) $\approx 390\mu s$
- La diferencia es por los tiempos de transmisión de los paquetes y principalmente en los enlaces de baja velocidad
- Tiempos máximos dependen muy poco del tamaño del paquete y mucho de los retardos en cola
- En LAN hemos visto cómo puede llegar con facilidad a $\times 1000$
- Retardos de transmisión y propagación son predecibles, los retardos en cola son más complejos
- Dependen del tráfico generado por otros hosts, de la topología de red, del camino que sigan los flujos, de las capacidades de los enlaces, de los caminos escogidos, de cómo planifiquen el tráfico los switches, etc.
- Tenemos que recurrir a técnicas estadísticas o a calcular cotas de caso peor que pueden no ser útiles