Paradigmas de conmutación

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

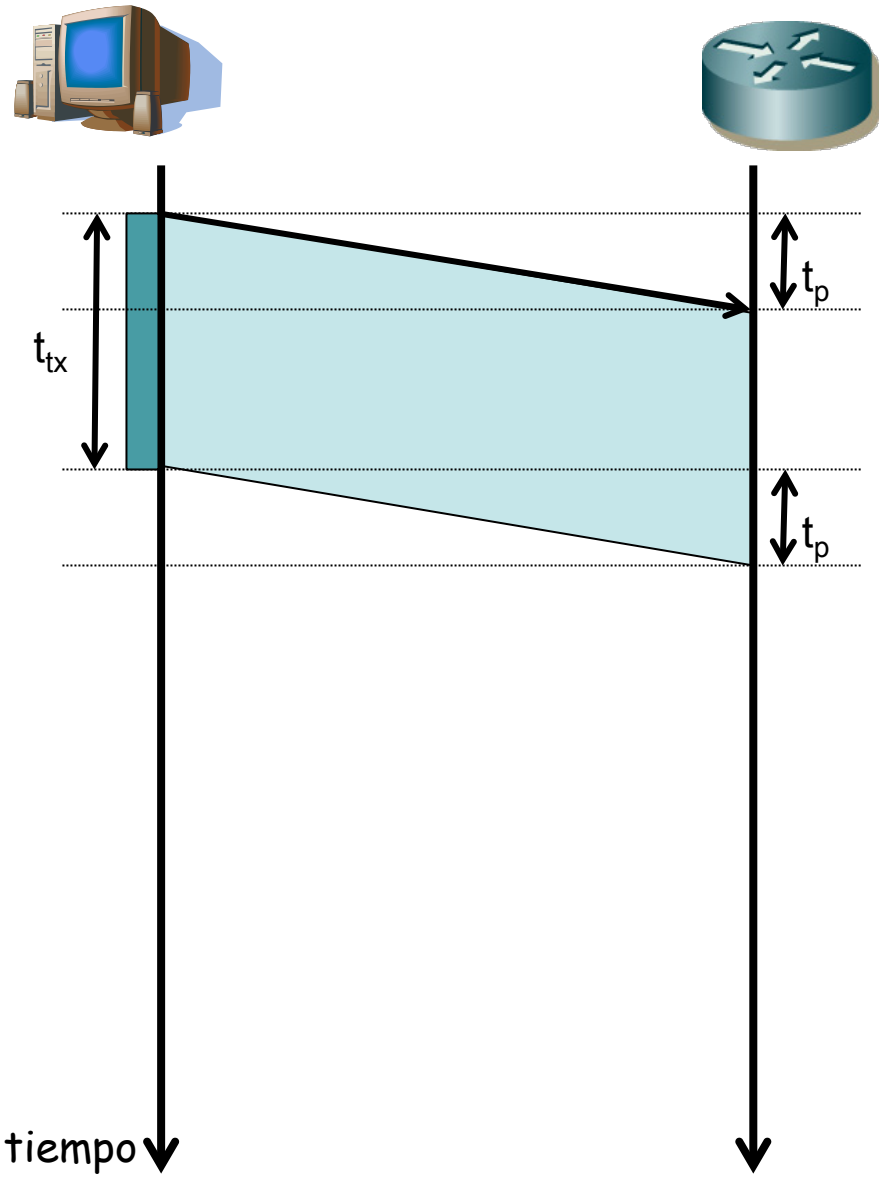
Redes
4º Ingeniería Informática

Temario

1. **Introducción a las redes**
2. Encaminamiento
3. Transporte extremo a extremo
4. Arquitectura de conmutadores de paquetes
5. Tecnologías para redes de área local
6. Tecnologías para redes de área extensa y última milla
7. Conmutación de circuitos

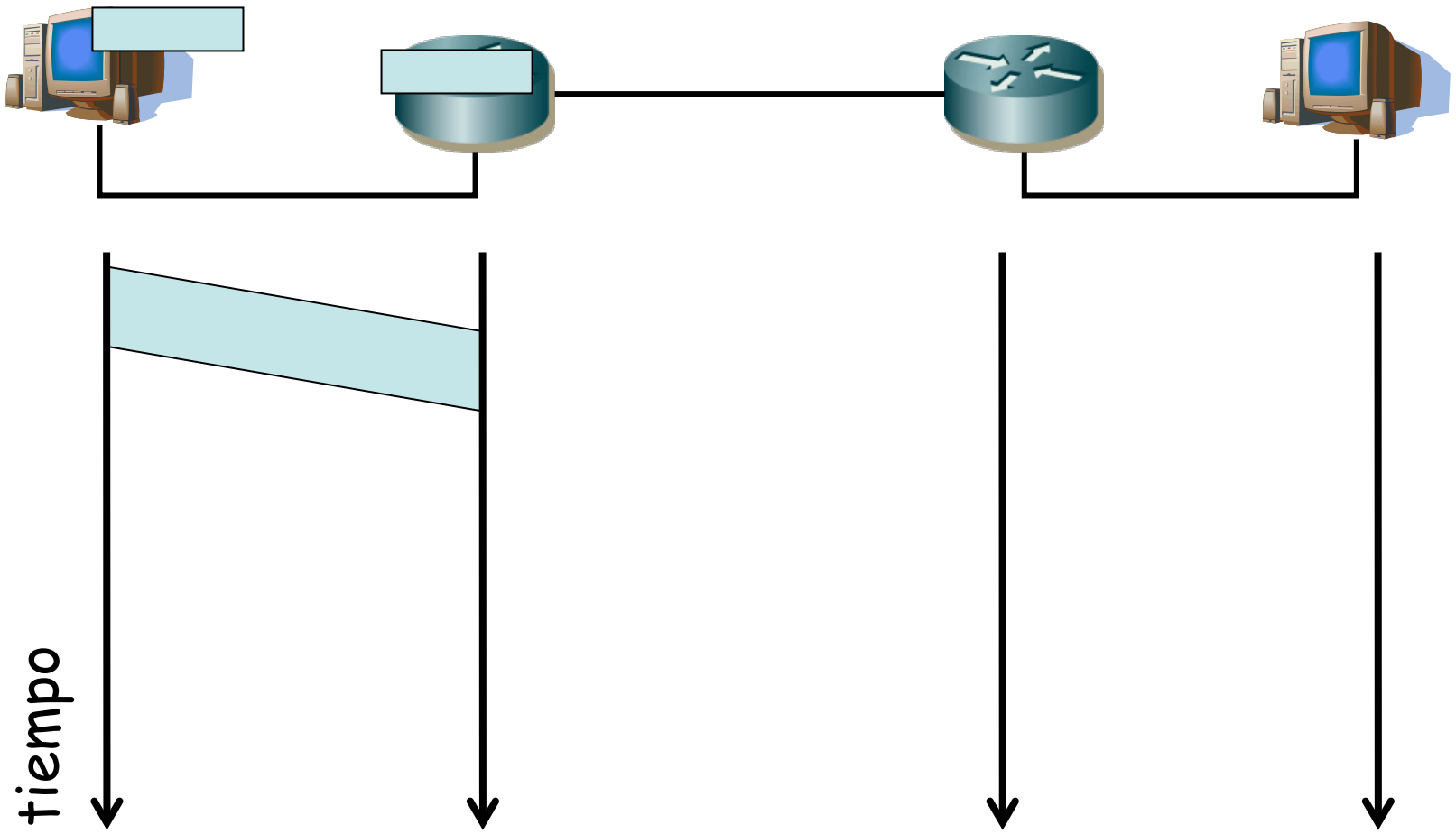
Retardos en conmutación de paquetes

Transmisión y propagación



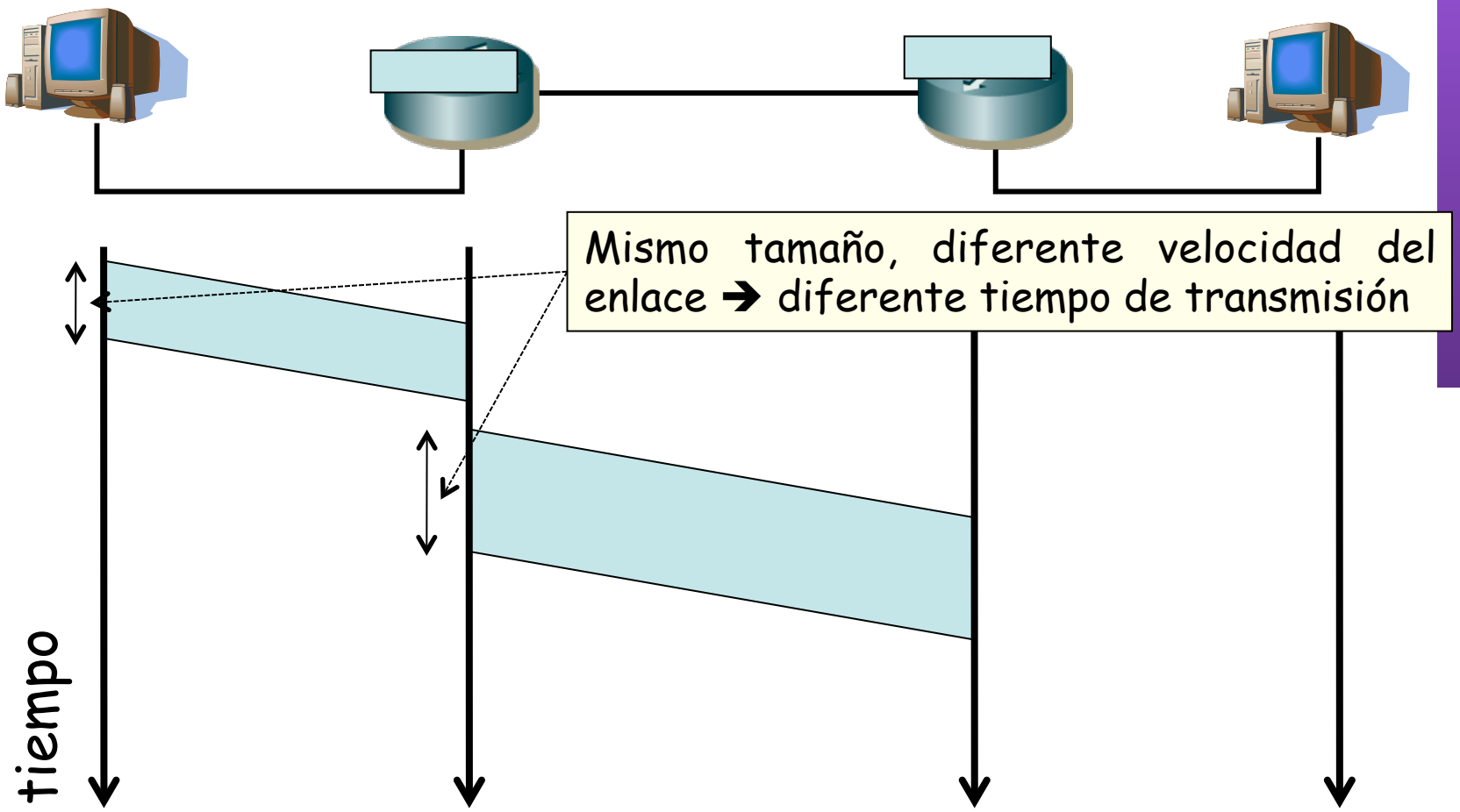
Store-and-forward

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



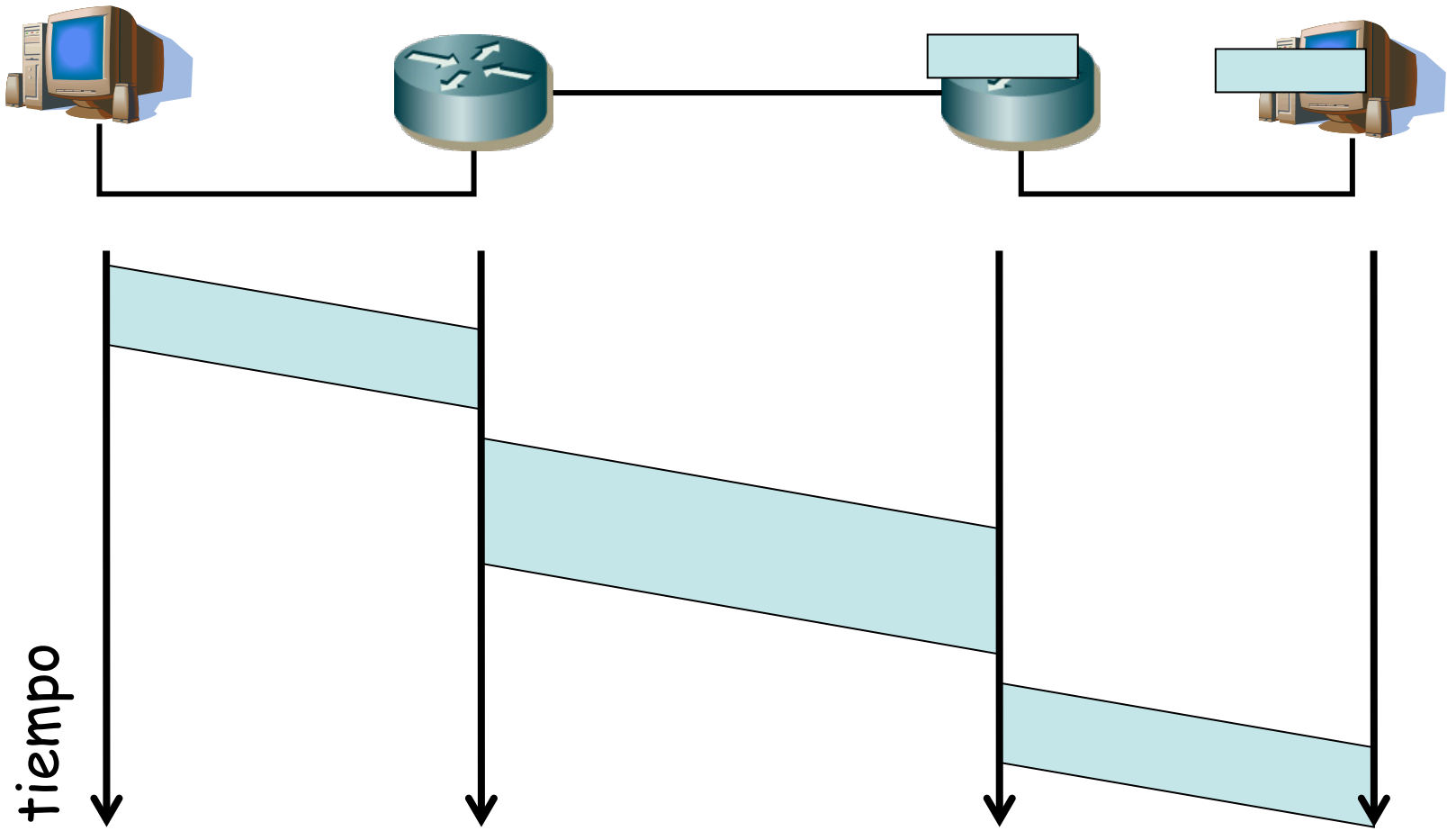
Store-and-forward

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



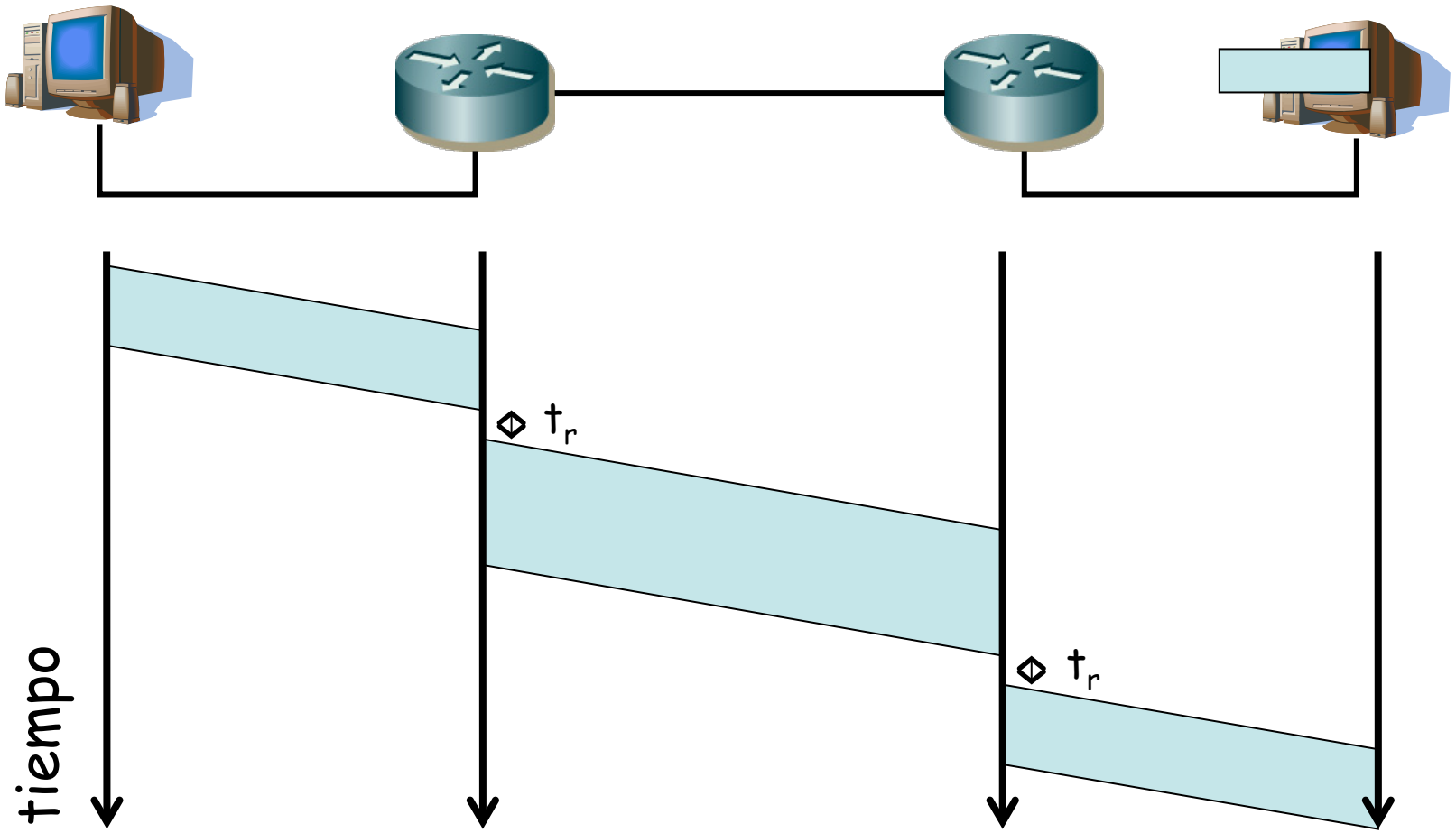
Store-and-forward

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



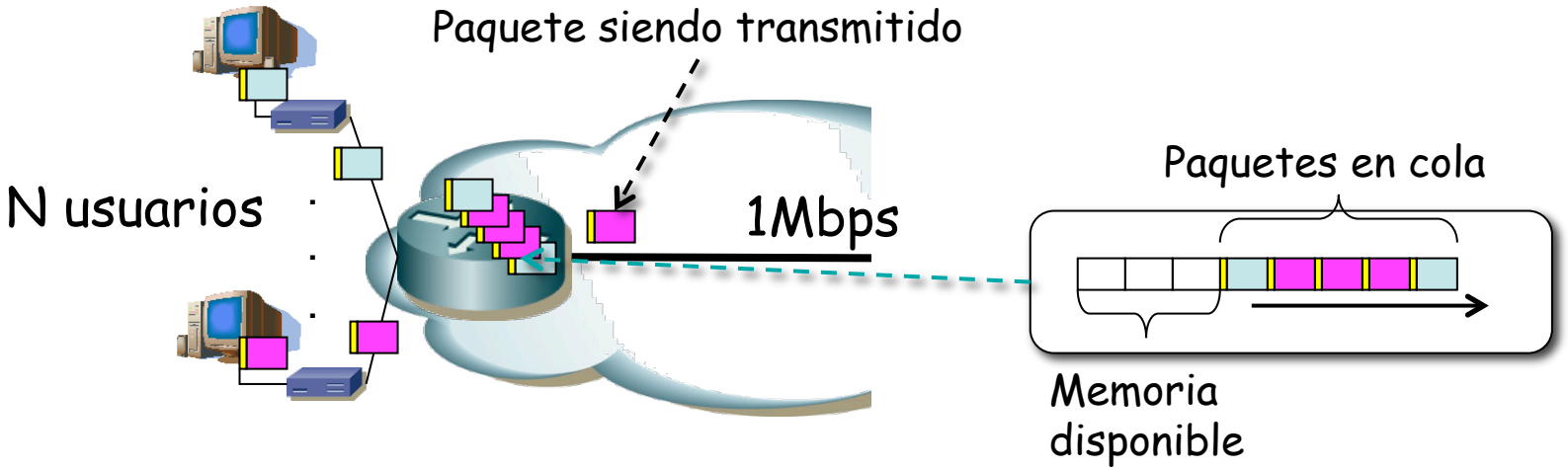
Tiempo de procesado

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



Retardo en cola

- Los paquetes pueden llegar al router a una velocidad mayor que la capacidad del enlace de salida
- O pueden llegar varios simultáneamente por enlaces diferentes pero solo puede salir uno a la vez
- El router los almacena en memoria hasta poder enviarlos
- Esperan en una *cola*
- Si no queda espacio en memoria para almacenar un paquete, normalmente éste se pierde (*drop-tail policy*)



Retardo en cola

- R = tasa de transmisión
- L = longitud del paquete
- λ = tasa media de llegadas por segundo

- Llegan λ paquetes por segundo
- Llegan λL bps

Intensidad del tráfico:

$$I = \frac{\lambda L}{R}$$

Si I > 1

- Llega más tráfico del que se puede cursar
- La cola crece indefinidamente
- Pérdidas al llenarse la cola del interfaz de salida

Retardo en cola

- R = tasa de transmisión
- L = longitud del paquete
- λ = tasa media de llegadas por segundo

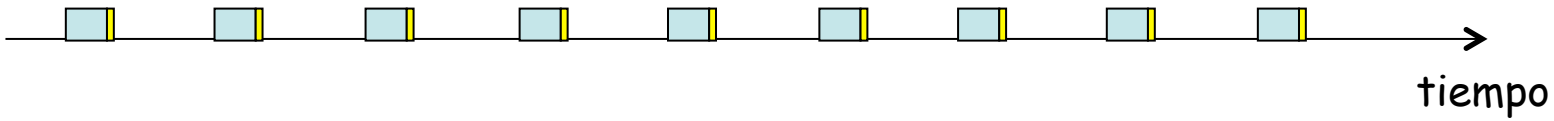
- Llegan λ paquetes por segundo
- Llegan λL bps

Intensidad del tráfico:

$$I = \frac{\lambda L}{R}$$

Si I < 1 y llegadas periódicas

- Supongamos paquetes de igual tamaño
- El tiempo de transmisión es menor al tiempo entre llegadas
- No se forma cola



Retardo en cola

- R = tasa de transmisión
- L = longitud del paquete
- λ = tasa media de llegadas por segundo

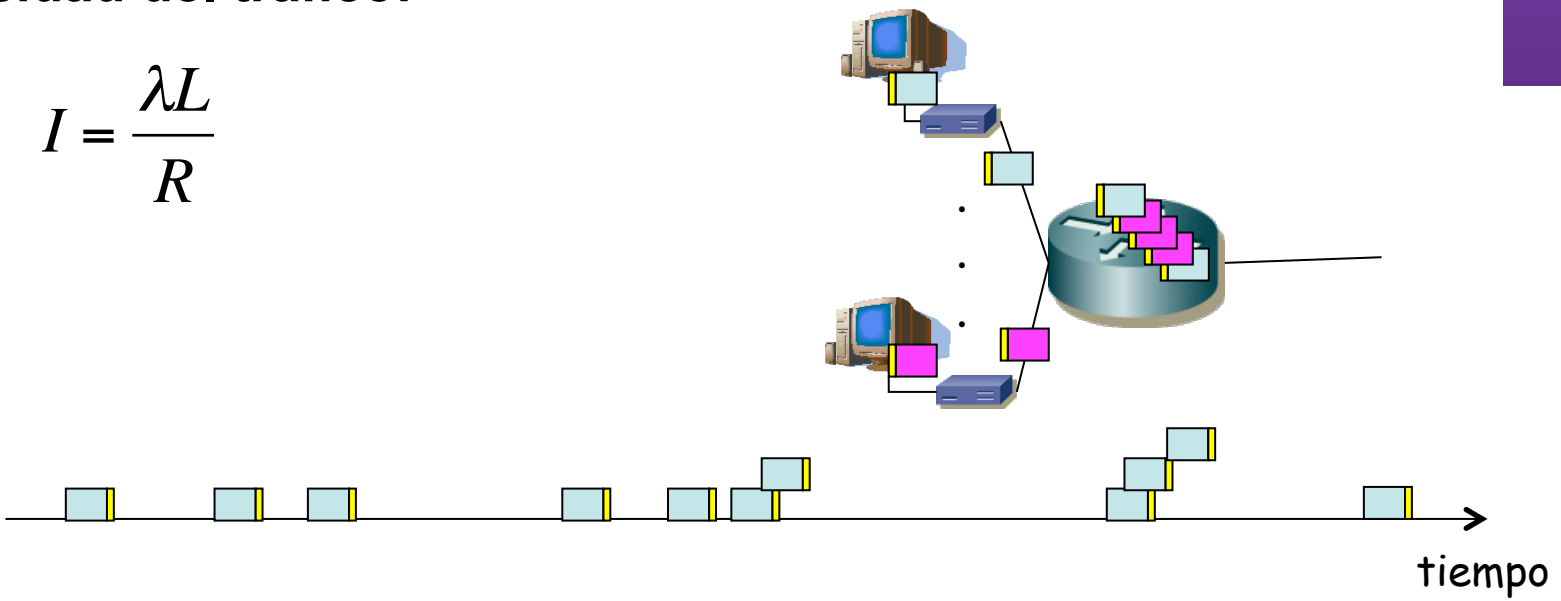
- Llegan λ paquetes por segundo
- Llegan λL bps

Intensidad del tráfico:

$$I = \frac{\lambda L}{R}$$

Si I < 1 y llegadas "aleatorias"

- En media entra menos tráfico del que puede salir
- Pero pueden llegar dos paquetes muy próximos
- Se forma cola
- Depende de cómo lleguen los paquetes y sus tamaños (...)



Retardo en cola

- R = tasa de transmisión
- L = longitud del paquete
- λ = tasa media de llegadas por segundo

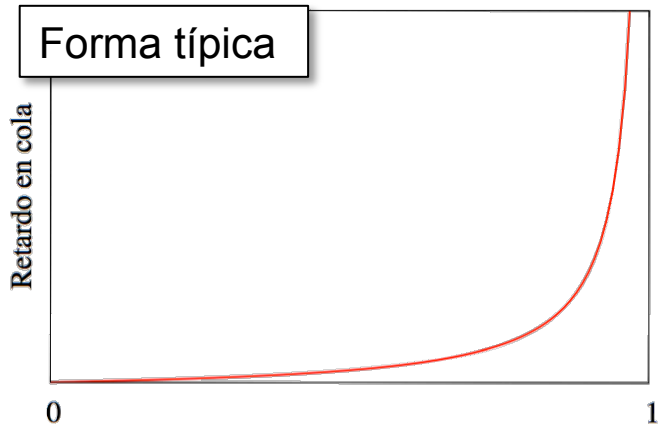
- Llegan λ paquetes por segundo
- Llegan λL bps

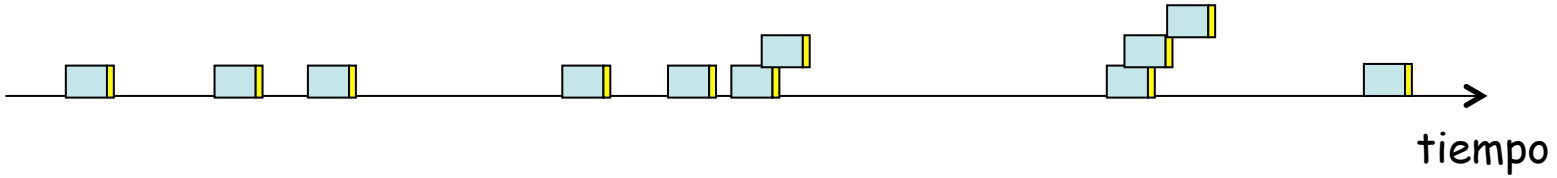
Intensidad del tráfico:

$$I = \frac{\lambda L}{R}$$

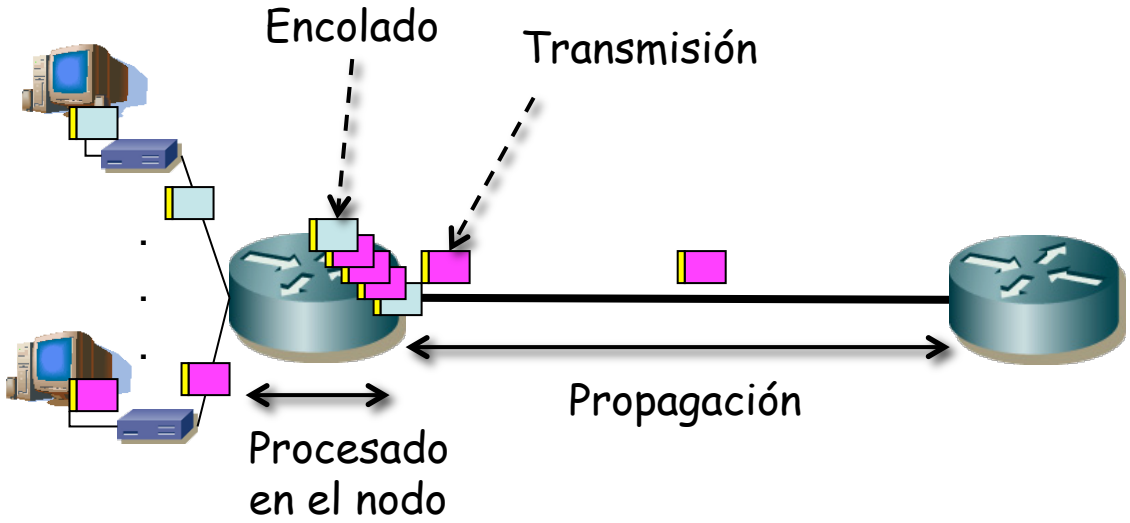
Si I < 1 y llegadas "aleatorias"

- En media entra menos tráfico del que puede salir
- Pero pueden llegar dos paquetes muy próximos
- Se forma cola
- Depende de cómo lleguen los paquetes y sus tamaños (...)





Retardos



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

d_{proc} = tiempo de procesado
- Unos microsegundos

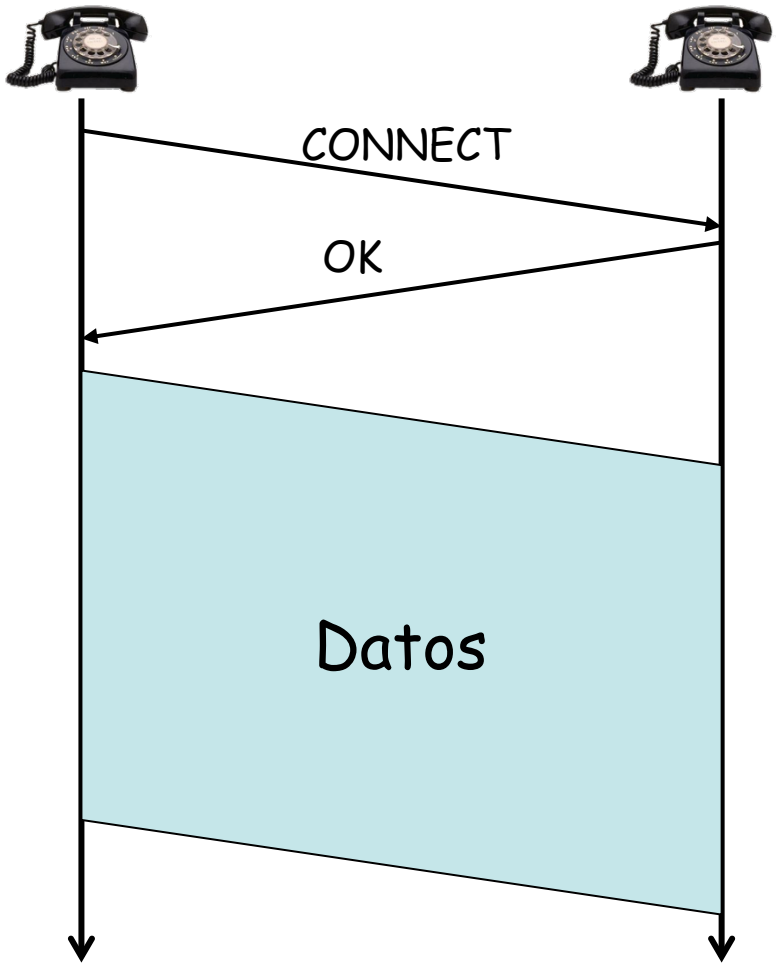
d_{cola} = retardo en cola
- Depende de la congestión

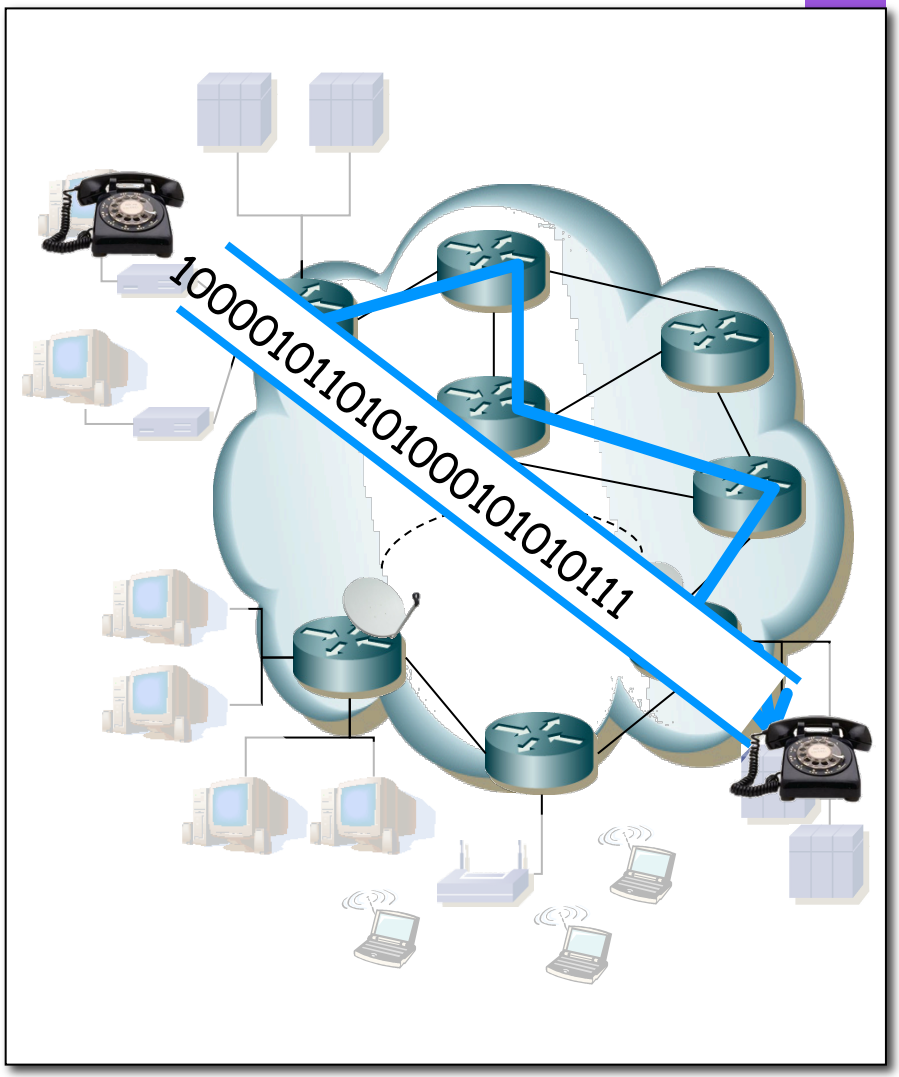
d_{trans} = retardo transmisión
- = L/R, significativo en enlaces de baja velocidad

d_{prop} = retardo propagación
- De unos microseg a centenares de mseg

Ejemplo

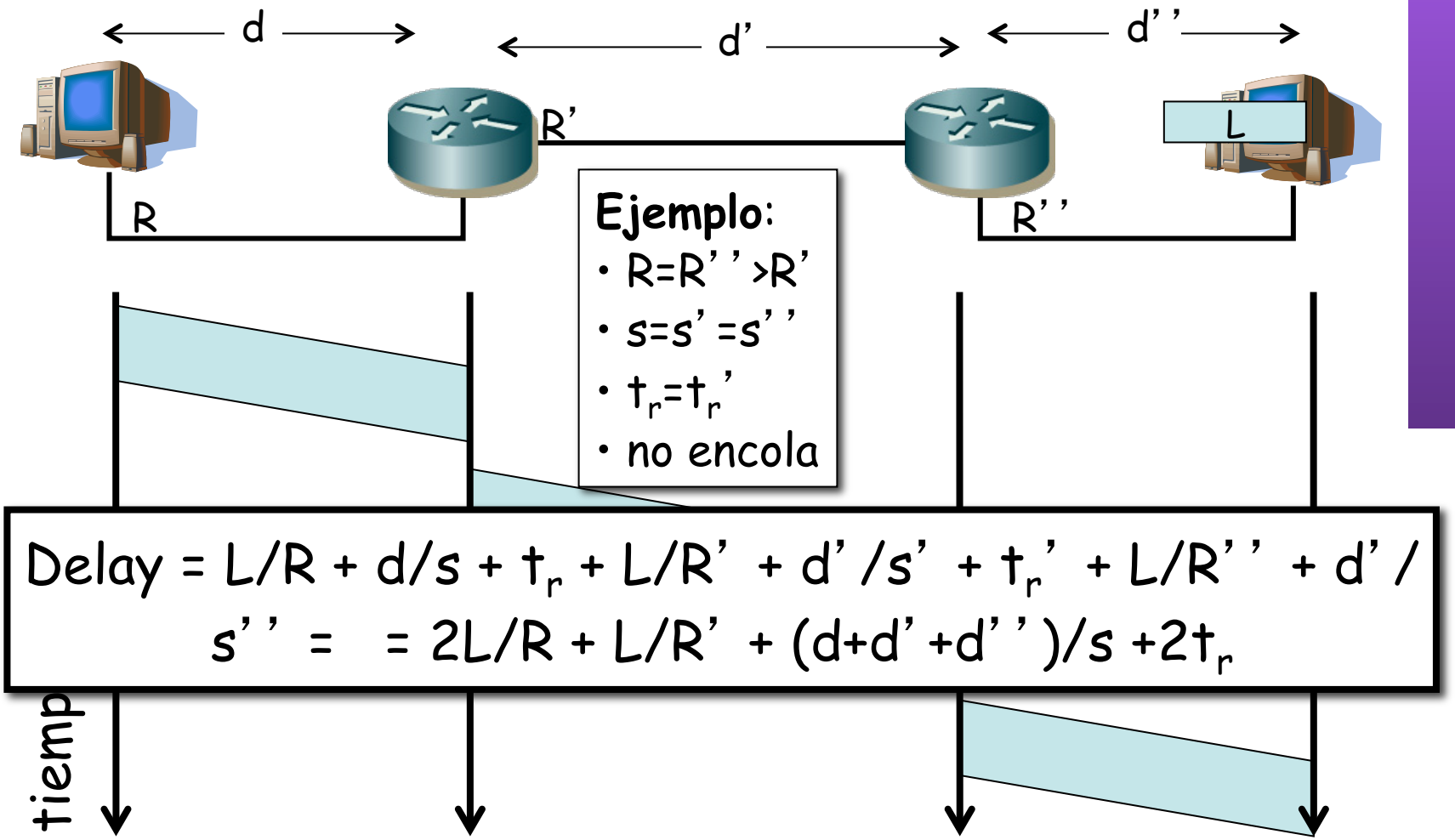
- Conmutación de circuitos





Retardos

- Conmutación de paquetes



Efecto del tamaño del paquete

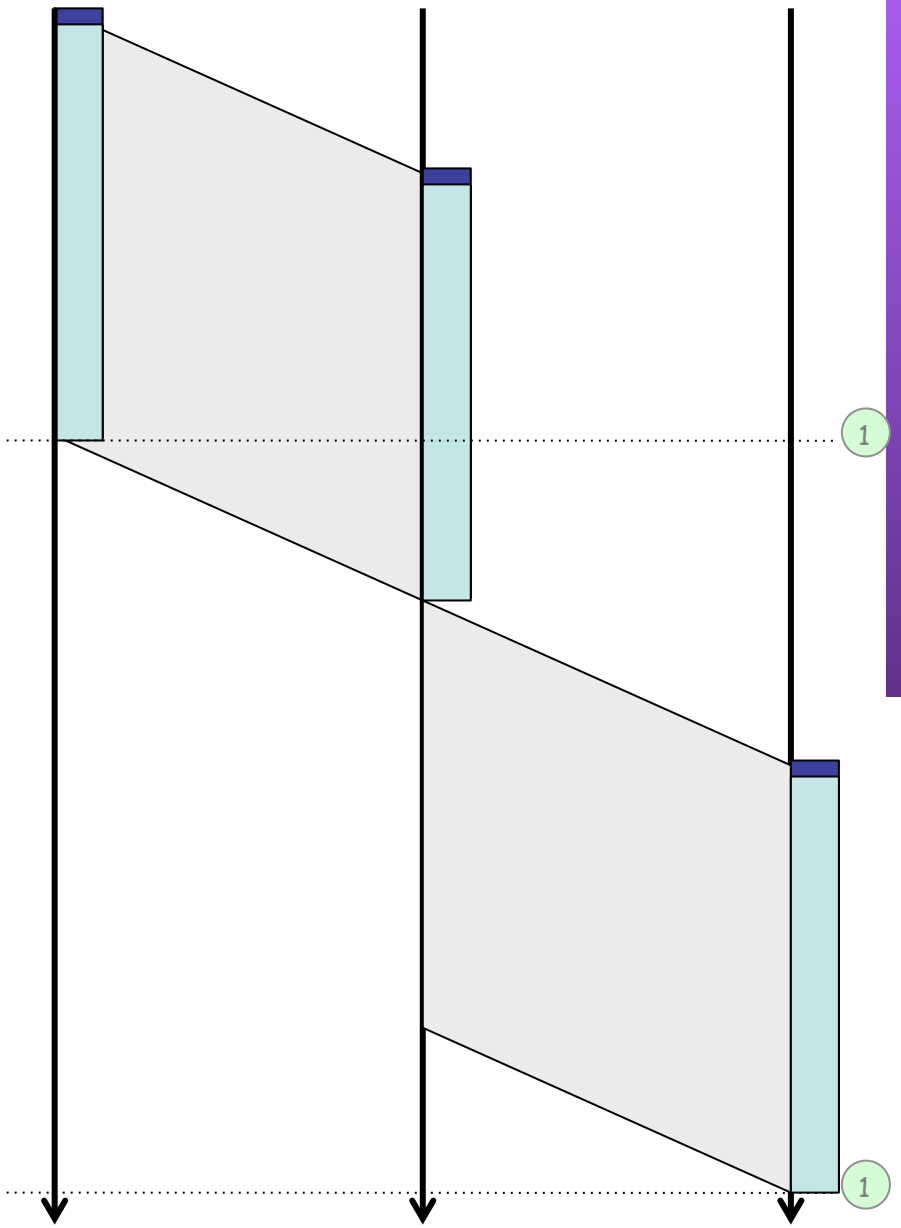
Mayor tamaño:

- Menos cabeceras, más eficiencia

Menor tamaño:

- Menos tiempo a esperar por *store and forward*

(…)



Efecto del tamaño del paquete

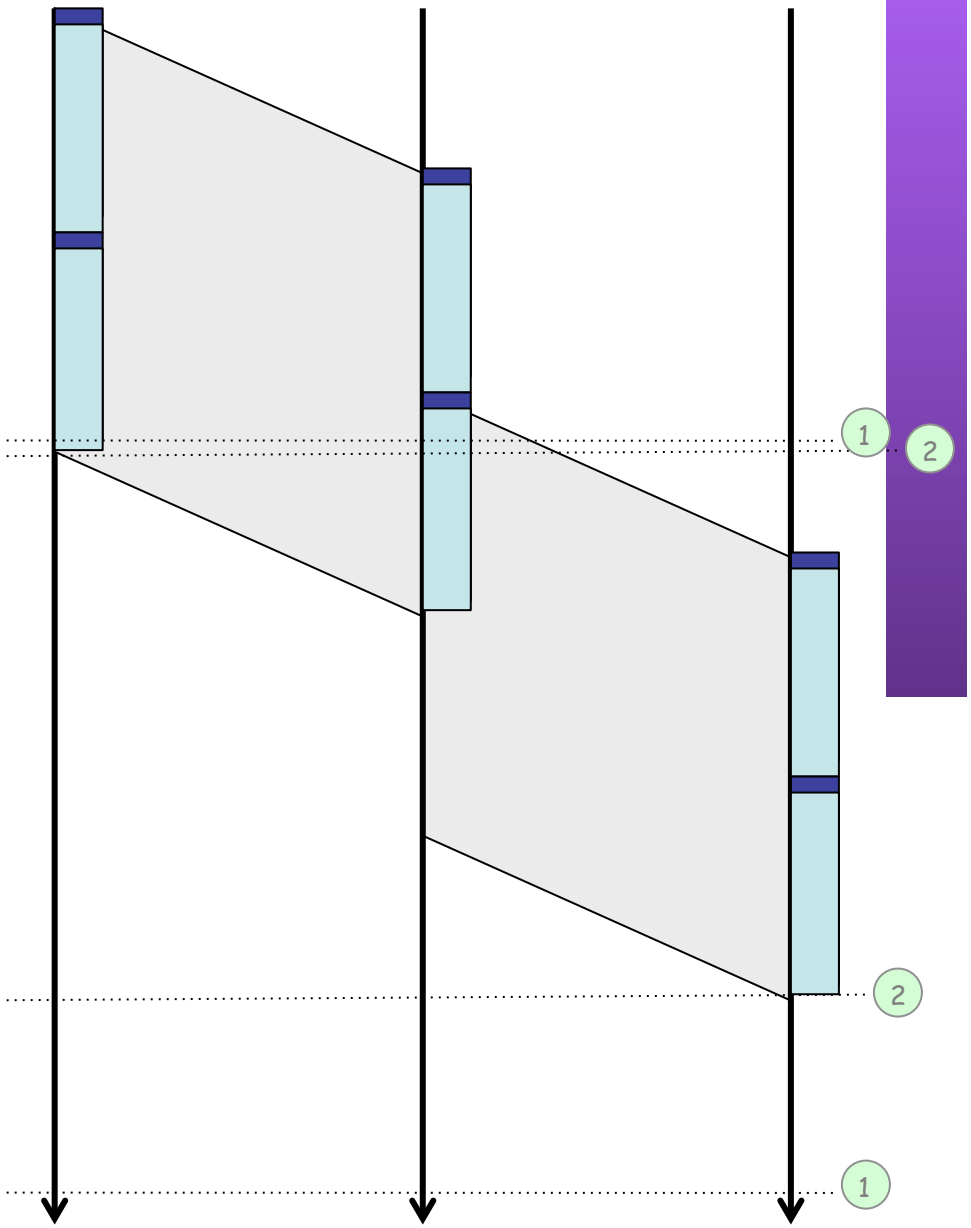
Mayor tamaño:

- Menos cabeceras, más eficiencia

Menor tamaño:

- Menos tiempo a esperar por *store and forward*

(…)



Efecto del tamaño del paquete

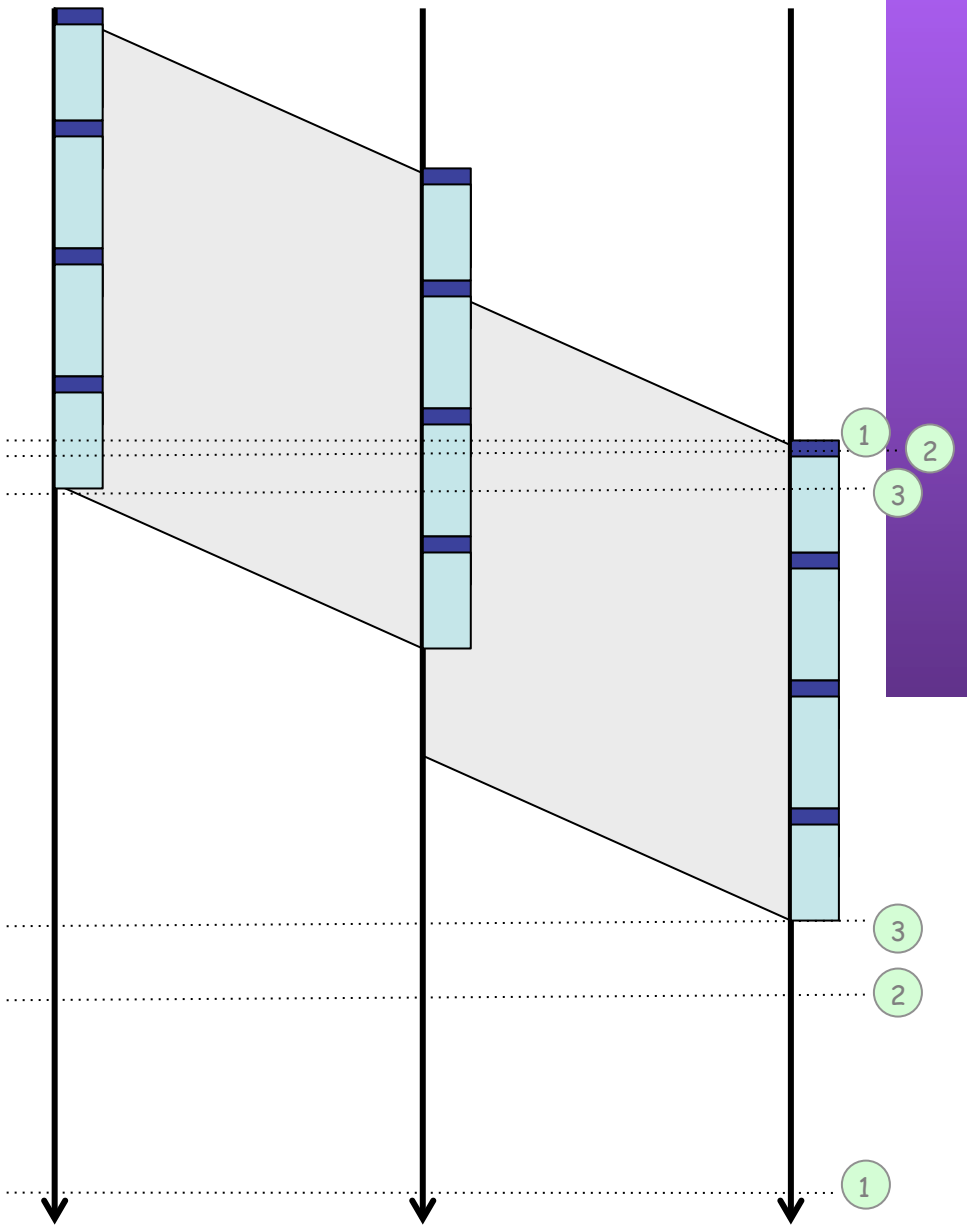
Mayor tamaño:

- Menos cabeceras, más eficiencia

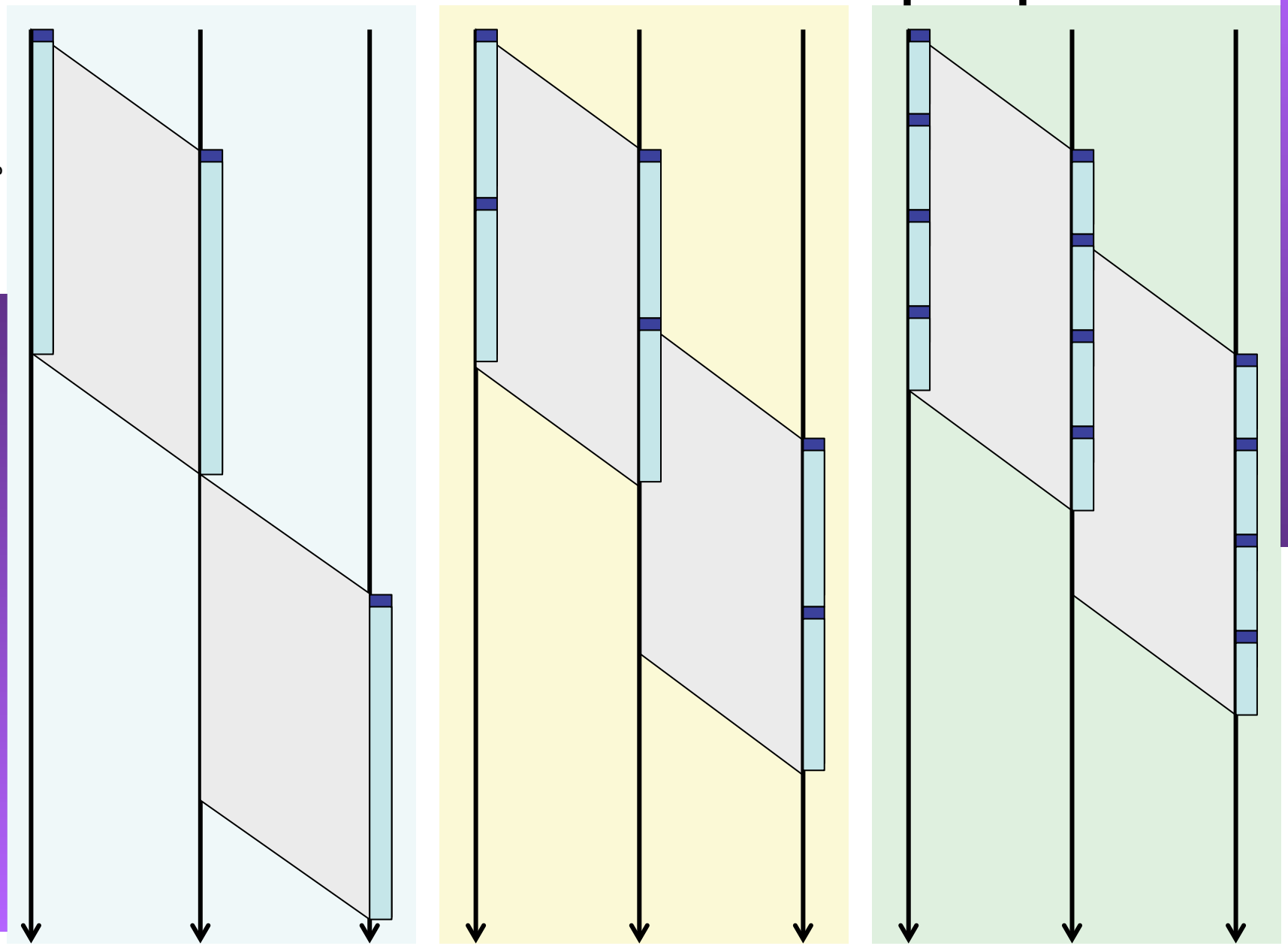
Menor tamaño:

- Menos tiempo a esperar por *store and forward*

(…)

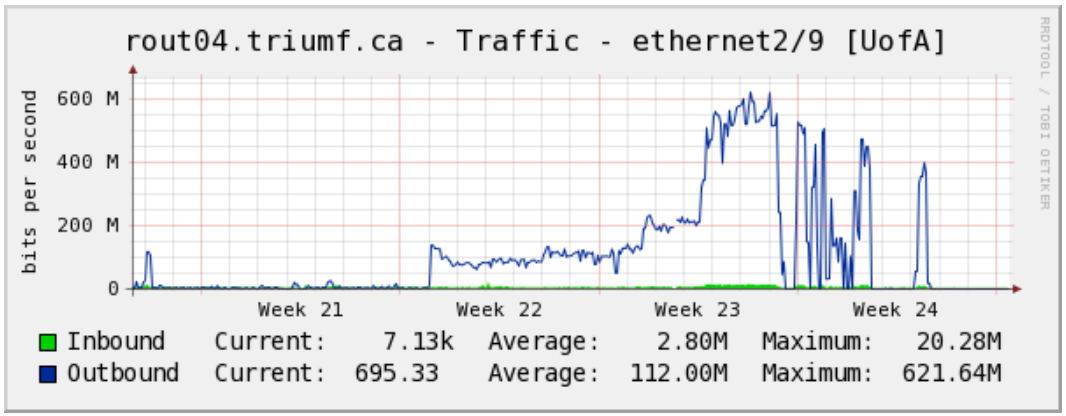


Efecto del tamaño del paquete



Throughput

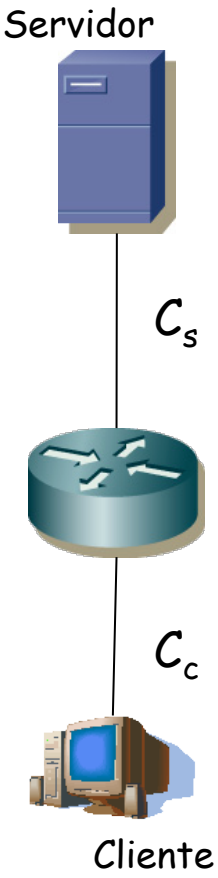
- Throughput instantáneo: tasa a la cual se transmiten o transfieren o reciben datos
- Throughput medio: cantidad de datos transferidos en un intervalo de tiempo divididos por ese tiempo
- Ejemplo: transferencia de fichero de tamaño F bits en un tiempo T segundos ha sido a F/T bps
- En realidad, throughput instantáneo medido por debajo del tiempo de un paquete es el bit rate del enlace
- Medido por encima de esa escala es un throughput medio



Ejemplo

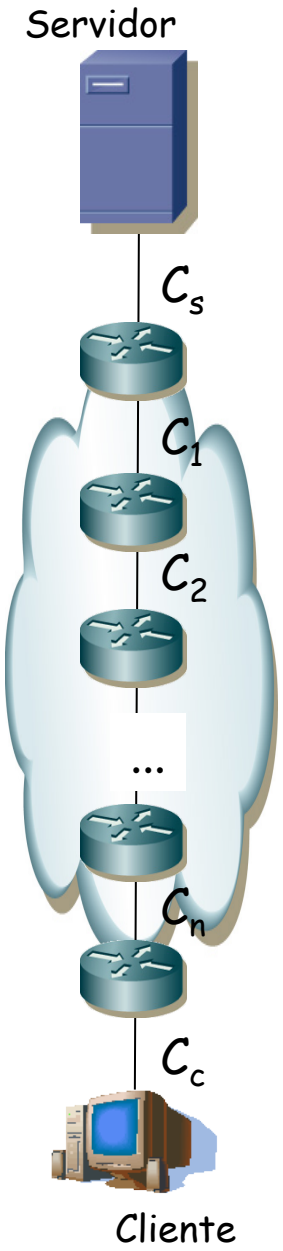
- Cliente, servidor y un conmutador de paquetes intermedio
- Capacidades de los enlaces C_S y C_C
- Cliente se descarga un fichero de tamaño F del servidor
- No hay más tráfico
- ¿Cuál es el mínimo tiempo que tardará el cliente en obtenerlo?

- Máximo throughput: mín{C_S,C_C}
- Mínimo tiempo: F/mín{C_S,C_C}
- "Cuello de botella" (*Bottleneck)*



Ejemplo 2

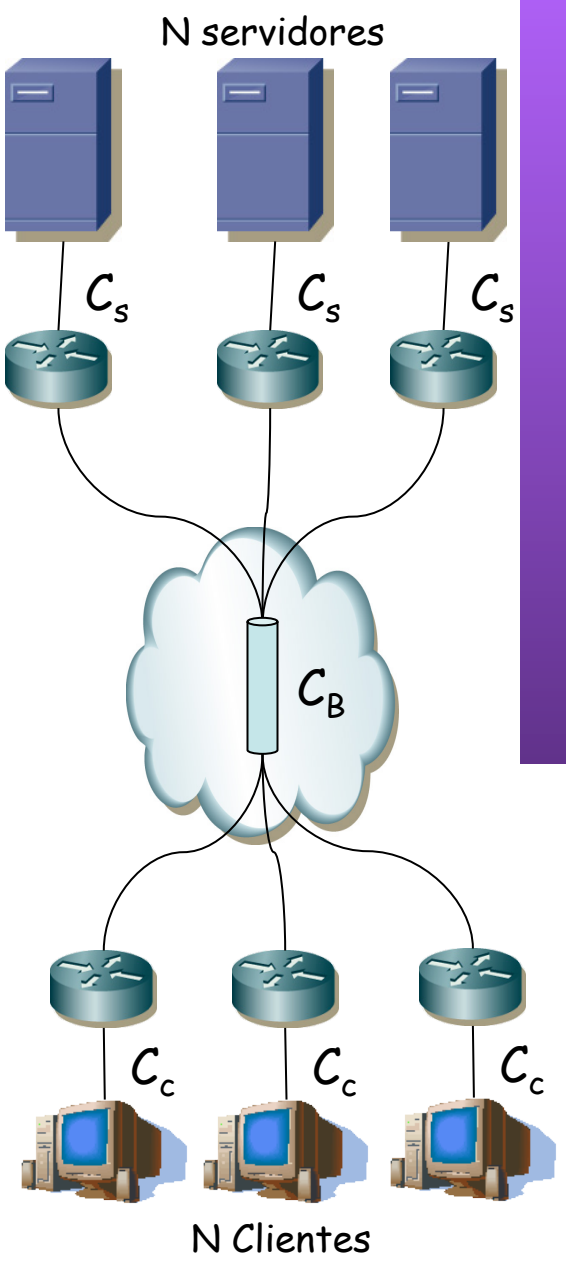
- Cliente, servidor y un conjunto de conmutadores de paquetes intermedios
- Capacidades de los enlaces C_S, C_C y C_i i=1...n
- Cliente se descarga un fichero de tamaño F del servidor
- No hay más tráfico
- Máximo throughput: mín$\{C_S,C_C,C_i\}_{i=1..n}$
- Hoy en día los enlaces en el núcleo de la red son de mucha mayor capacidad que los del acceso
- Con eso de nuevo máximo throughput: mín$\{C_S,C_C\}$



Ejemplo 3

- N Clientes y servidores
- Cada cliente descarga un fichero de un servidor
- Comparten un enlace en la red de capacidad C_B
- La capacidad en el resto de enlaces en el núcleo de la red es superior
- No hay más tráfico

- ¿Dónde está ahora el cuello de botella?
- Supongamos $C_C < C_S < C_B$
- Supongamos que la capacidad C_B se reparte equitativamente entre los N flujos
- Máximo throughput: mín{C_C,C_B/N}
- El cuello de botella puede estar en el acceso o en el núcleo

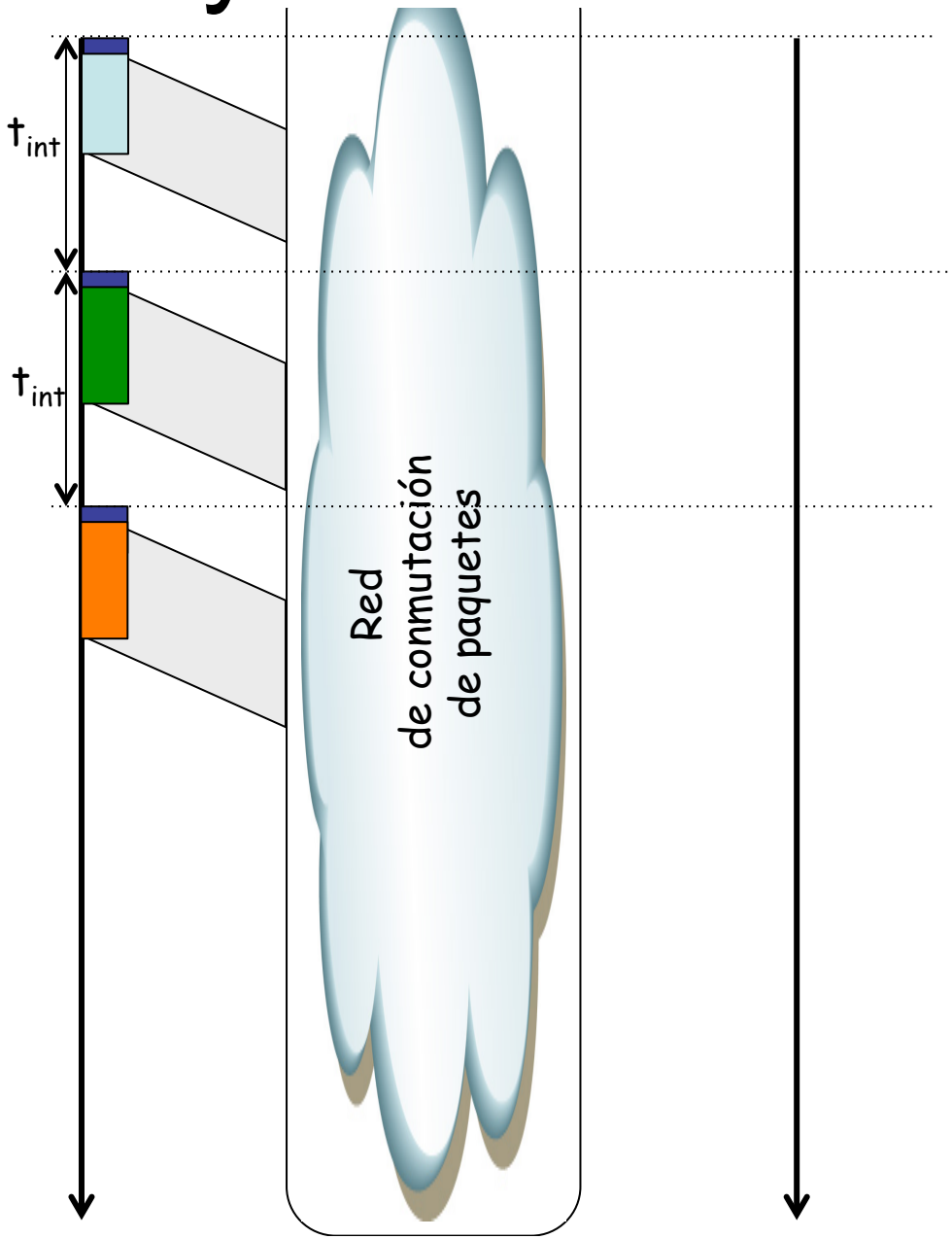


Packet Delay Variation

- Variación en el retardo (*jitter*)

Ejemplo 1

- Paquetes equiespaciados
- (...)

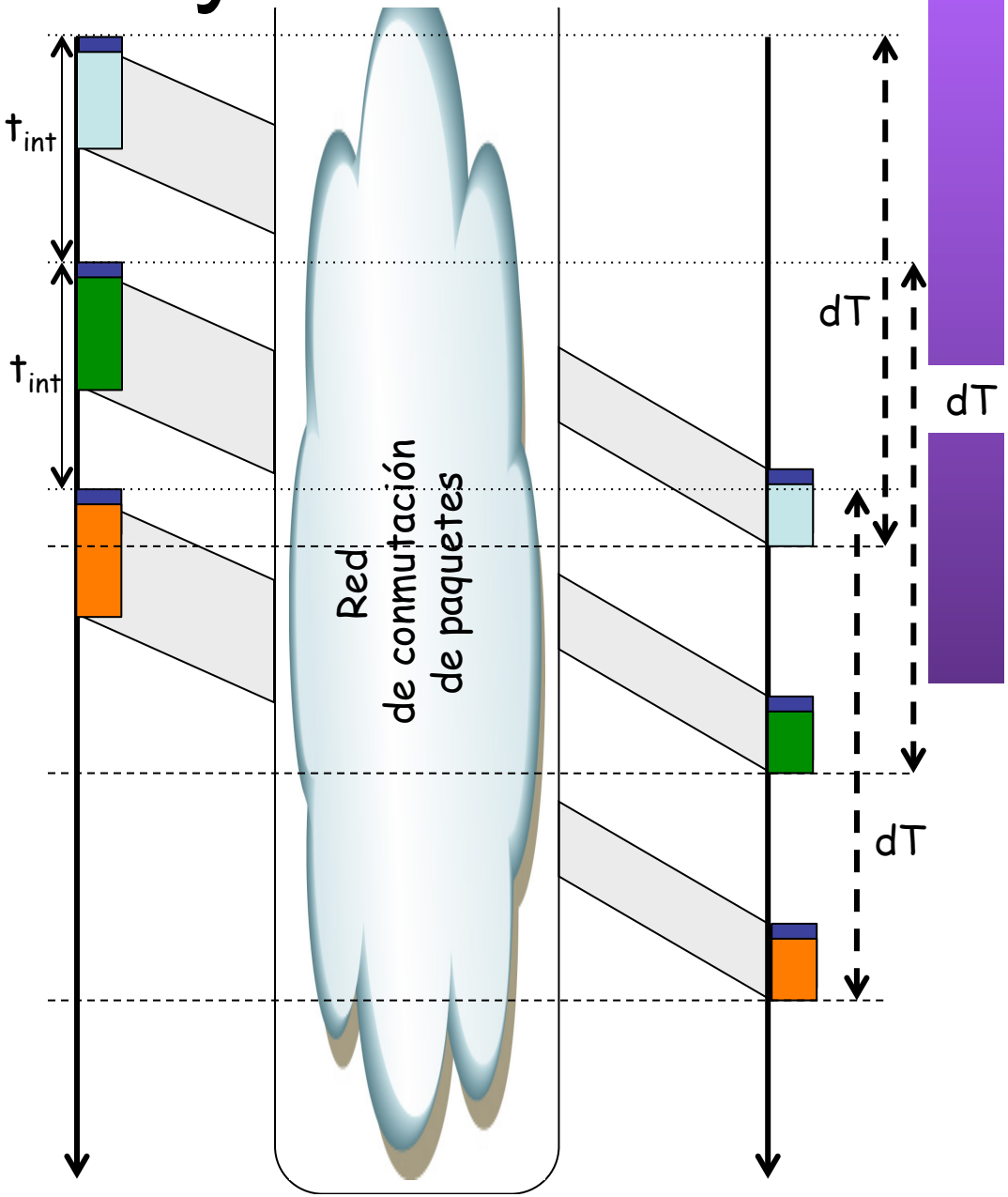


Packet Delay Variation

- Variación en el retardo (*jitter*)

Ejemplo 1

- Paquetes equiespaciados
- Retardo medido entre el tiempo de inicio de envío de primer bit y tiempo de fin de recepción del último bit (dT)
- Todos sufren igual retardo hasta el punto de medida
- (...)

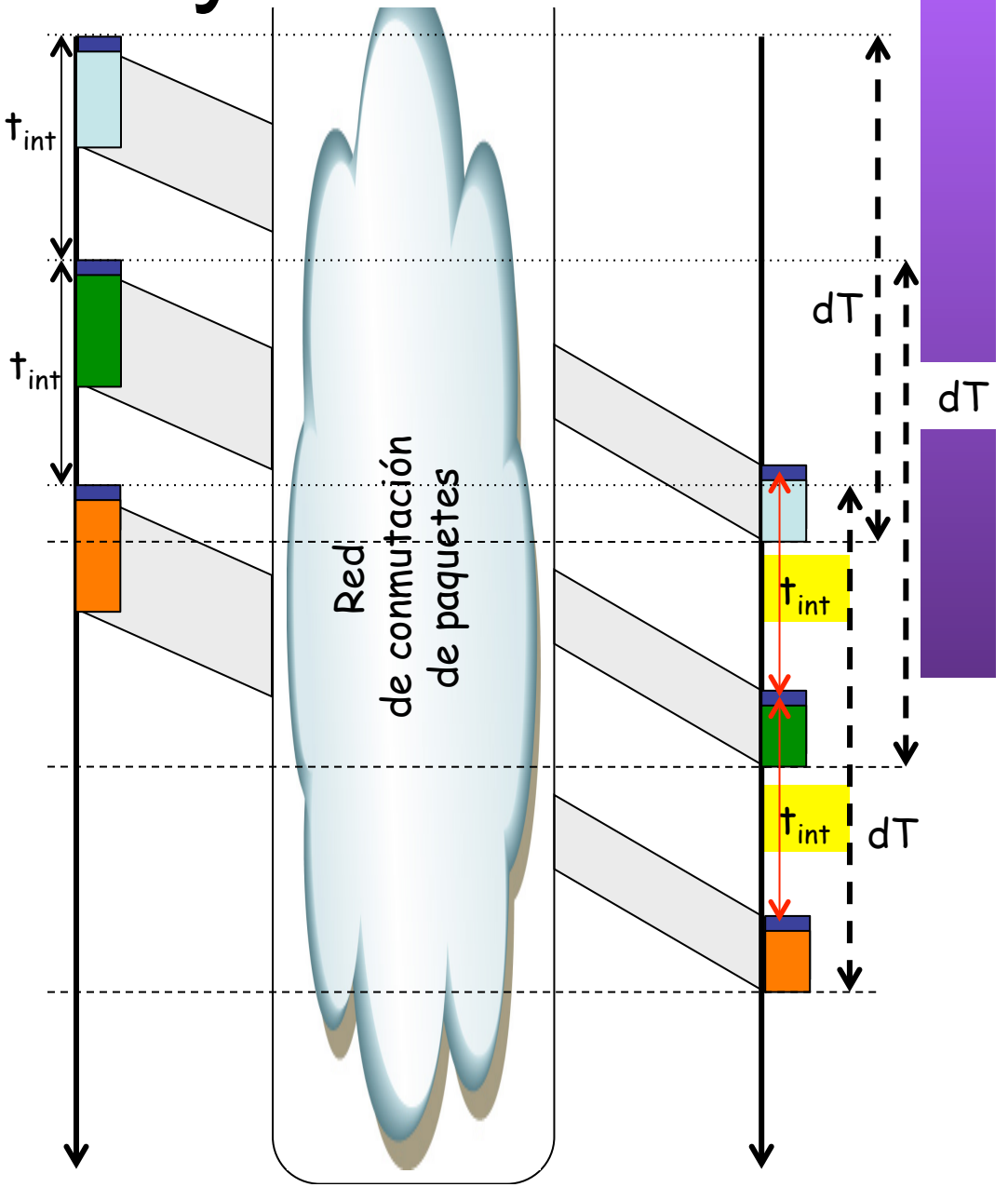


Packet Delay Variation

- Variación en el retardo (*jitter*)

Ejemplo 1

- Paquetes equiespaciados
- Retardo medido entre el tiempo de inicio de envío de primer bit y tiempo de fin de recepción del último bit (dT)
- Todos sufren igual retardo hasta el punto de medida
- En ese otro extremo (o punto de medida) los paquetes están equiespaciados
- No hay variación en el retardo

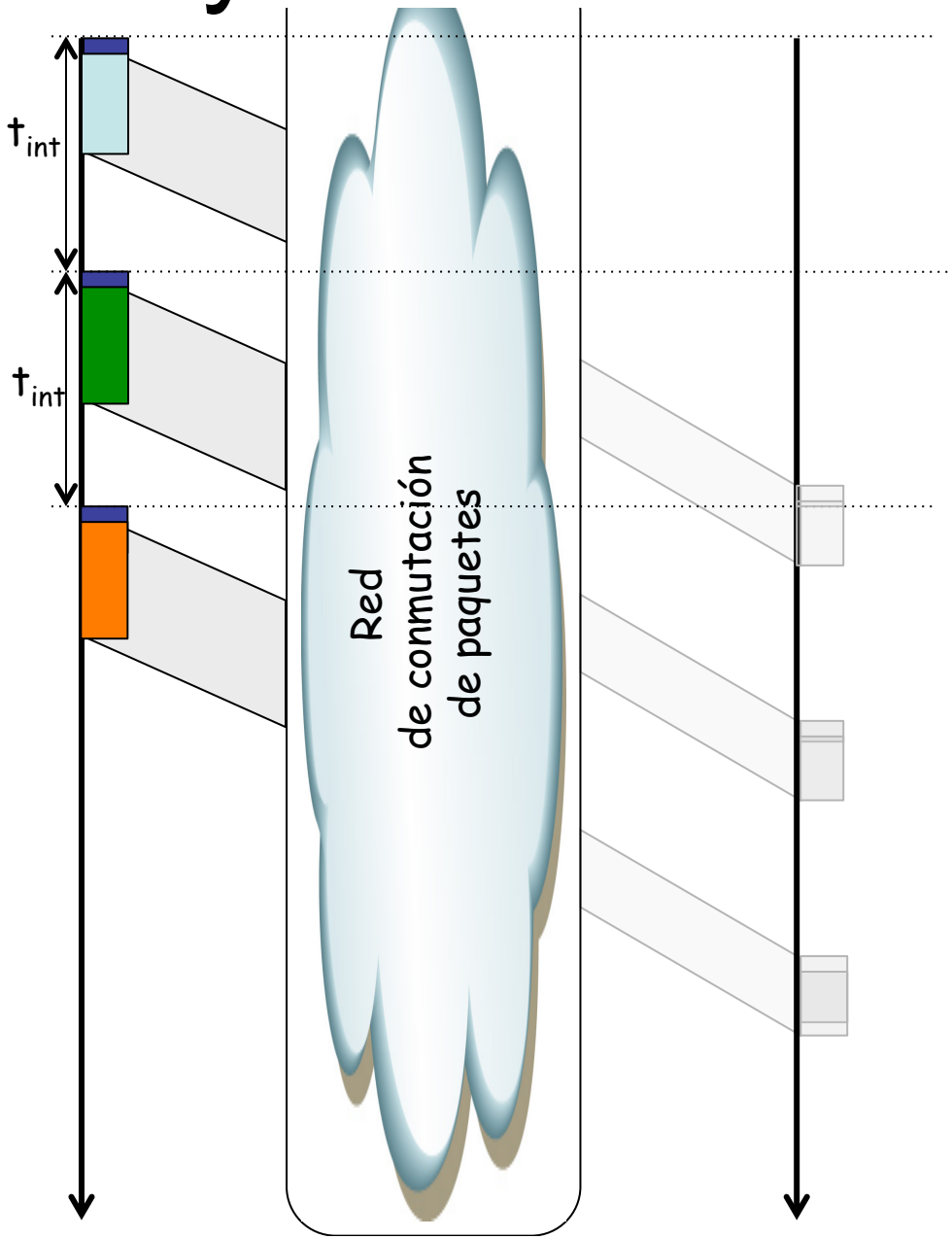


Packet Delay Variation

- Variación en el retardo (*jitter*)

Ejemplo 2

- Paquetes equiespaciados
- (En gris los instantes del ejemplo anterior)
- Sufren diferente retardo (dT_1, dT_2 y dT_3) (...)

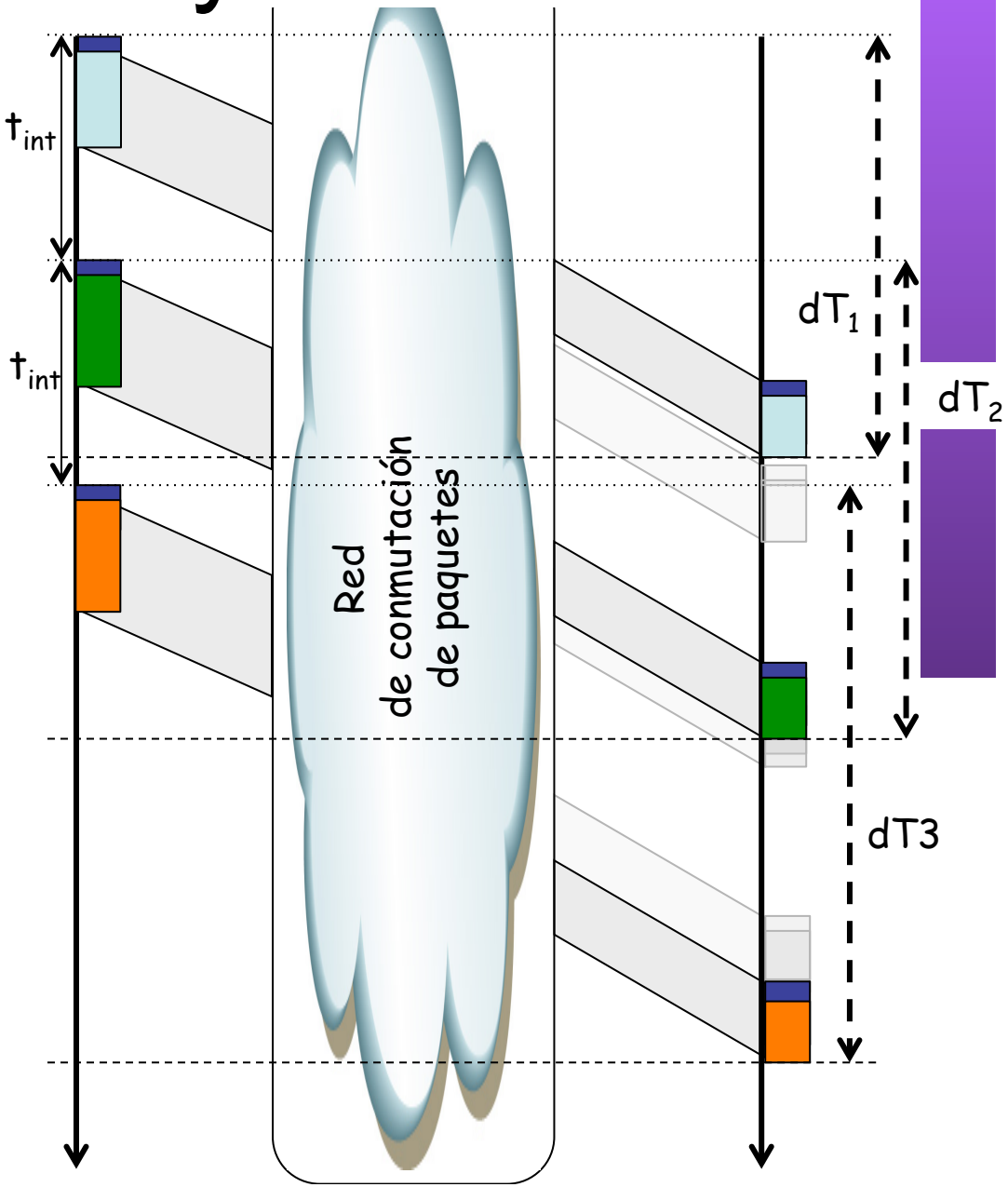


Packet Delay Variation

- Variación en el retardo (*jitter*)

Ejemplo 2

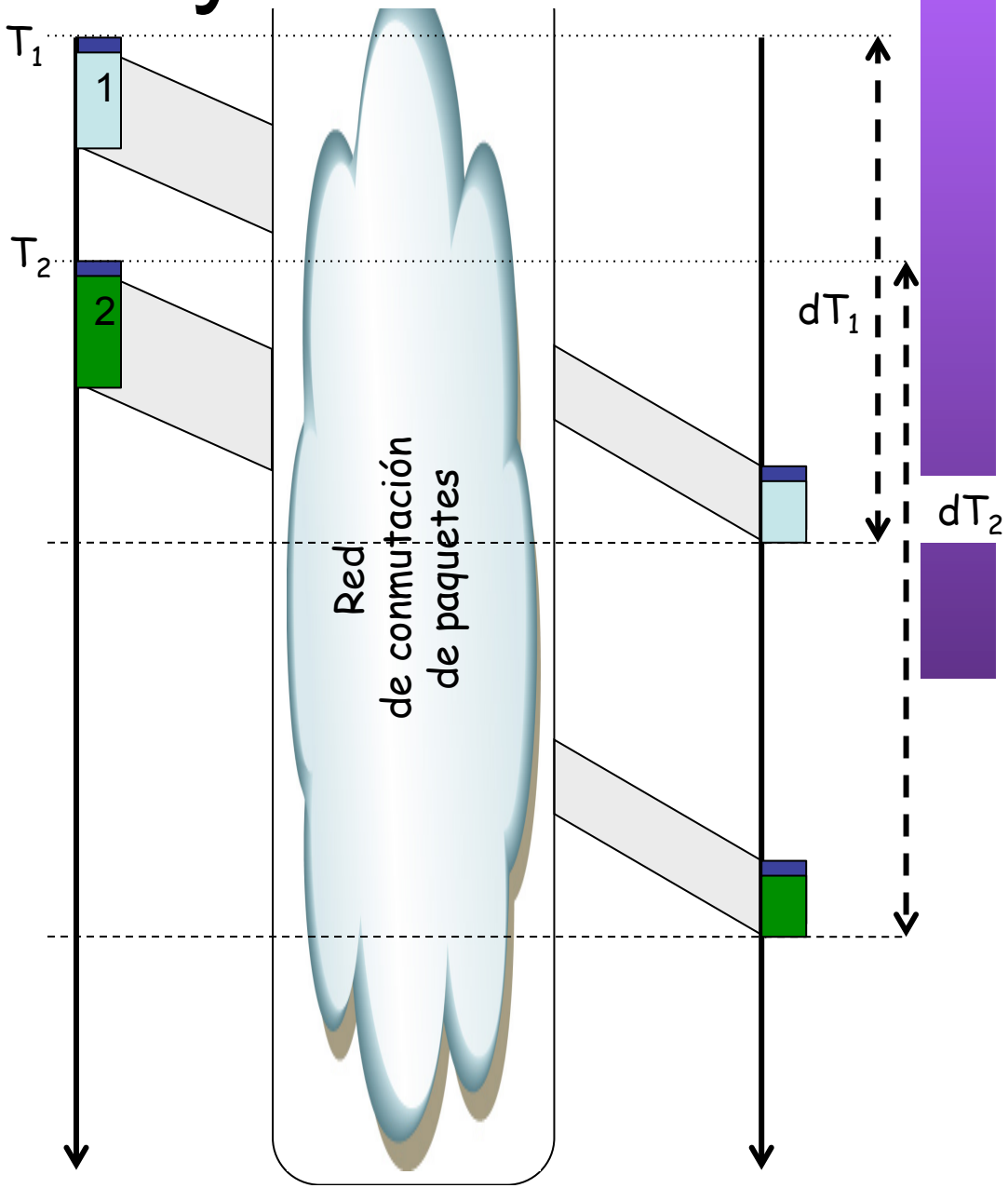
- Paquetes equiespaciados
- (En gris los instantes del ejemplo anterior)
- Sufren diferente retardo (dT_1, dT_2 y dT_3)
- PDV mide la variación en el retardo



Packet Delay Variation

Cálculo

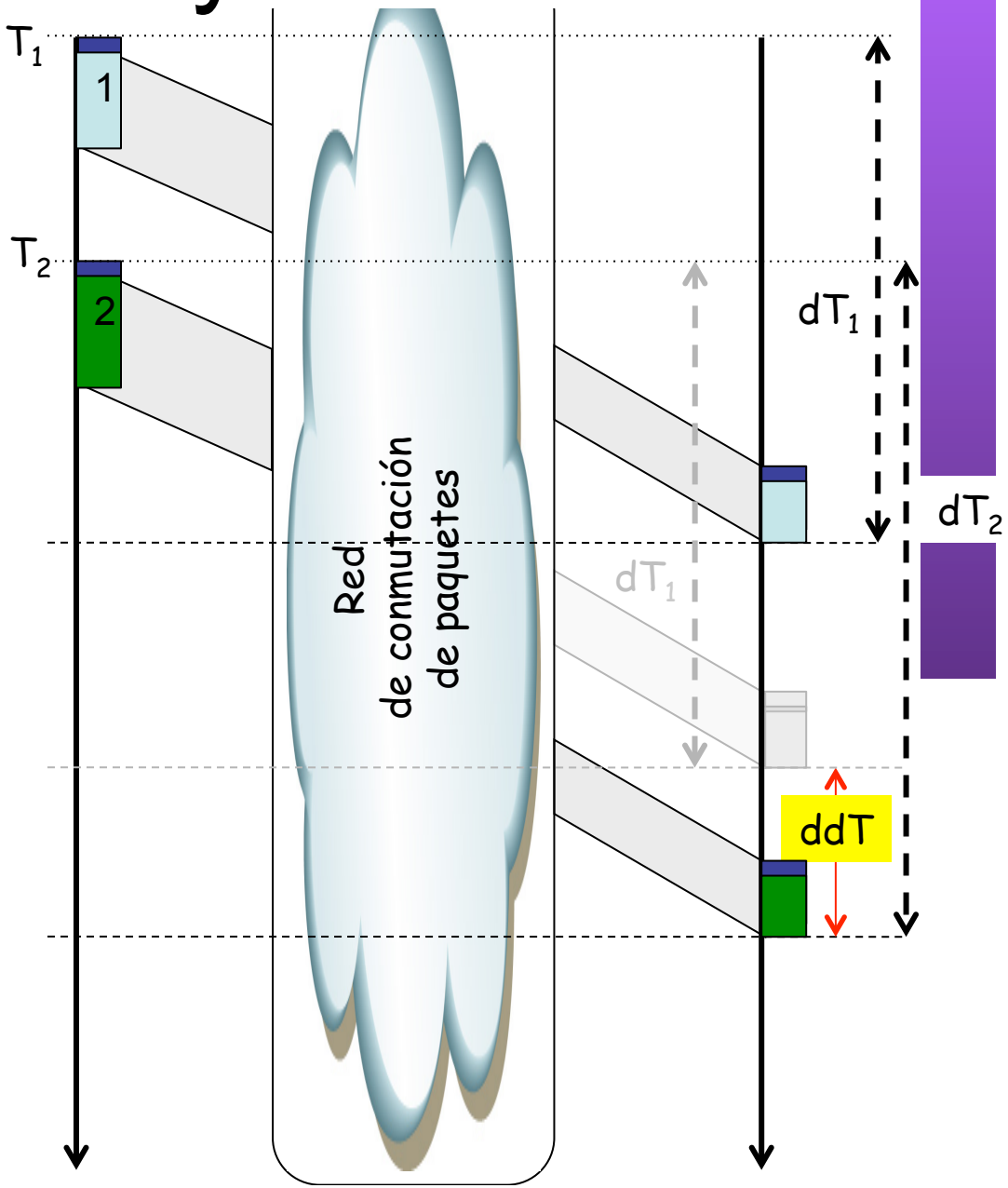
- Dos paquetes (1) y (2)
- Retardos dT_1 y dT_2
- $ddT = dT_2 - dT_1$
- Mide la diferencia entre cuándo ha llegado el segundo paquete y cuándo "debería" haber llegado
- El "debería" sería en el caso de mismo retardo ambos (...)



Packet Delay Variation

Cálculo

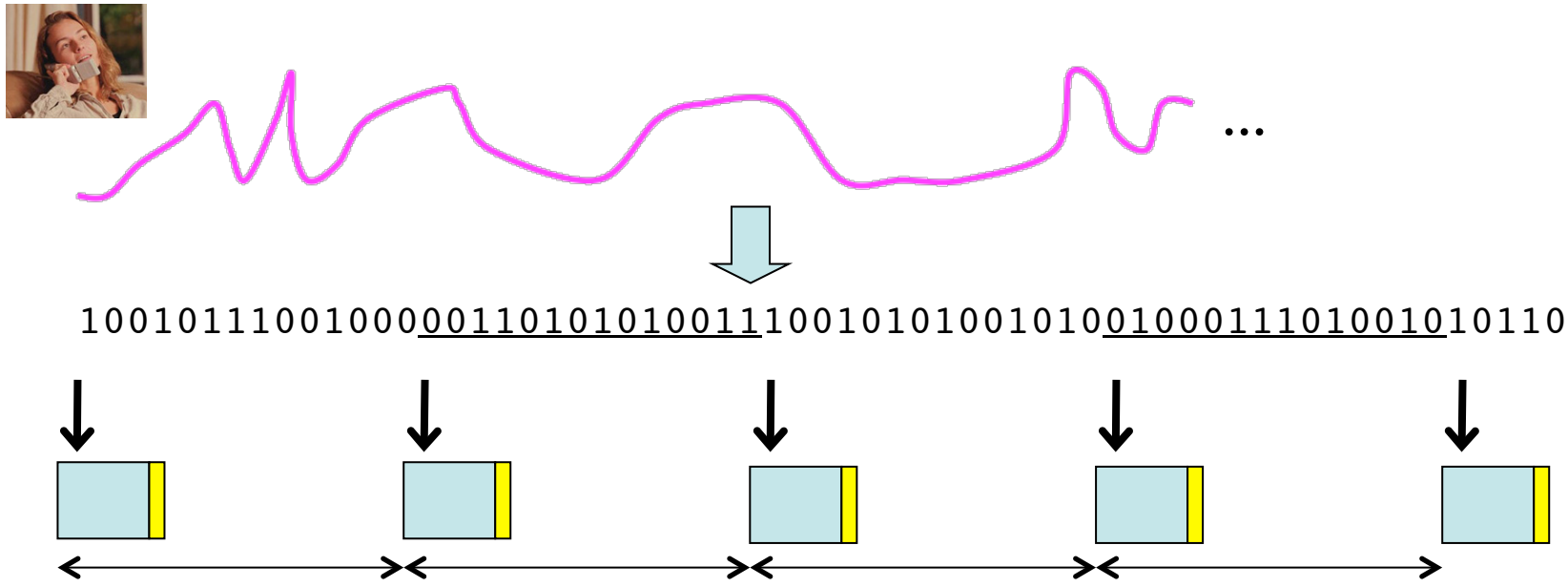
- Dos paquetes (1) y (2)
- Retardos dT_1 y dT_2
- $ddT = dT_2 - dT_1$
- Mide la diferencia entre cuándo ha llegado el segundo paquete y cuándo "debería" haber llegado
- El "debería" sería en el caso de mismo retardo ambos (paquete en gris)
- Diferencia puede ser positiva o negativa (atrasarse o adelantarse)



Efectos del PDV

Ejemplo

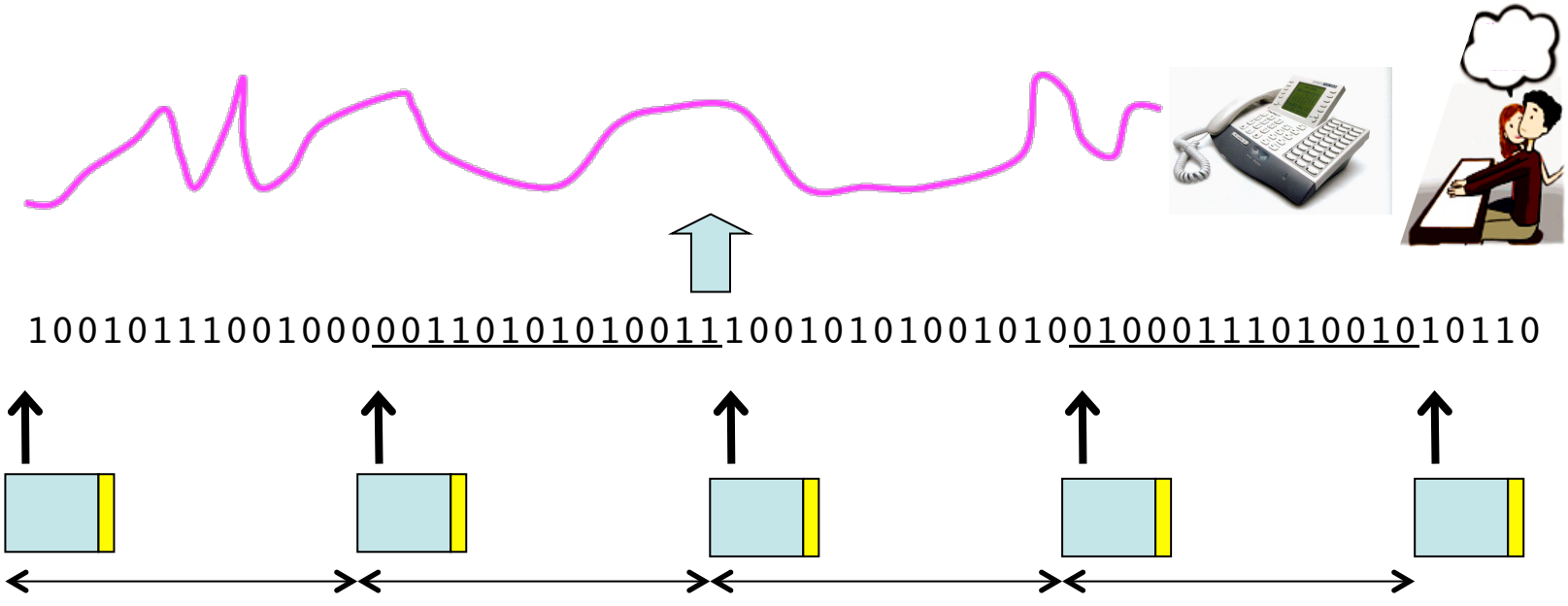
- Codec de voz que genera información digital a tasa constante
- Una vez paquetizada se convierte en paquetes equiespaciados
- (...)



Efectos del PDV

Ejemplo

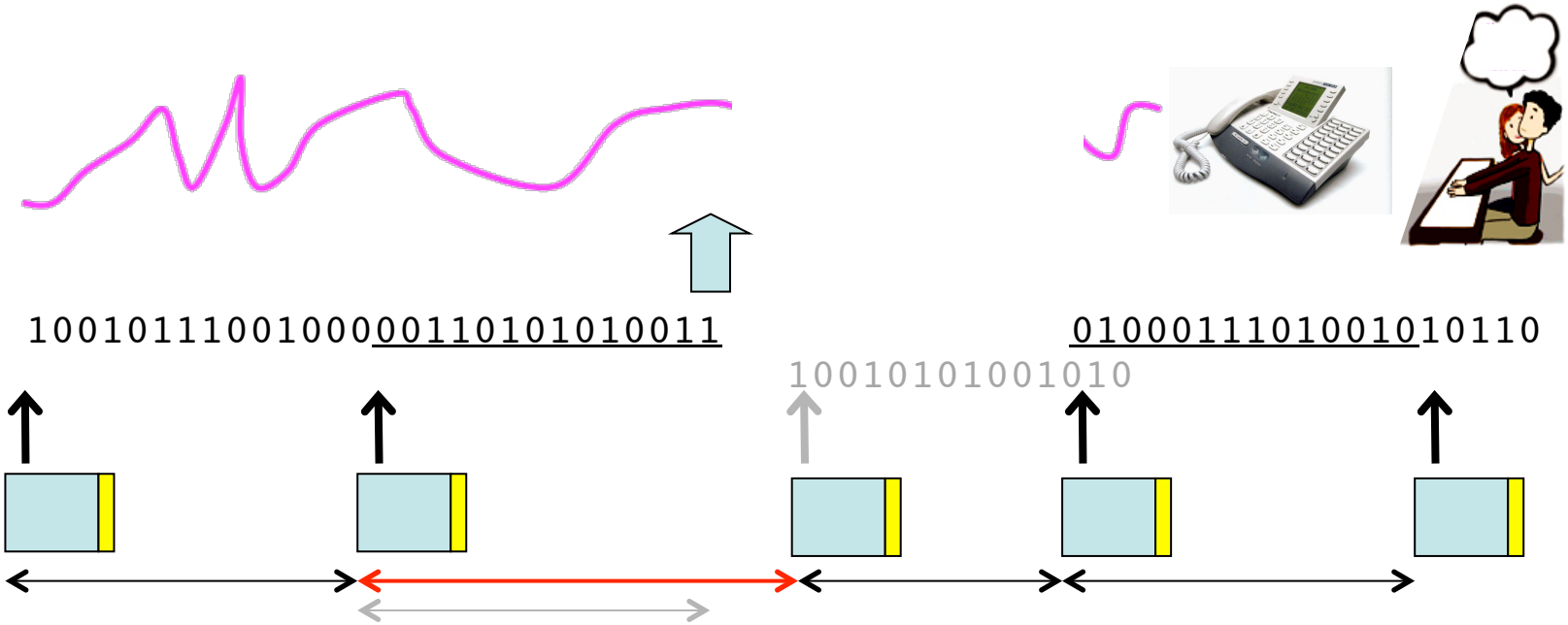
- Codec de voz que genera información digital a tasa constante
- Una vez paquetizada se convierte en paquetes equiespaciados
- En la decodificación se consumen a esa misma tasa
- (...)



Efectos del PDV

Ejemplo

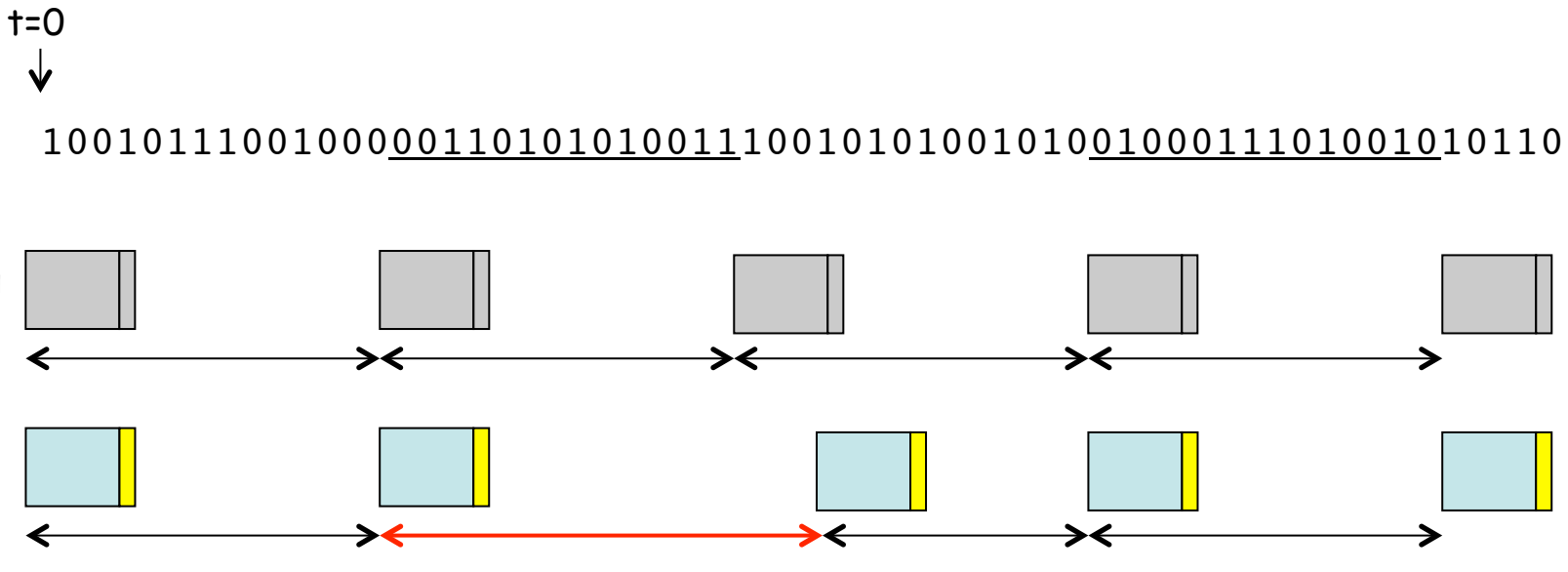
- Codec de voz que genera información digital a tasa constante
- Una vez paquetizada se convierte en paquetes equiespaciados
- En la decodificación se consumen a esa misma tasa
- Un primer paquete sufre un retardo mayor que el anterior y puede que cuando llegue “ya sea tarde”
- Es decir, ya no sirve decodificarlo pues ya se ha producido el corte en la reproducción



Efectos del PDV

Solución

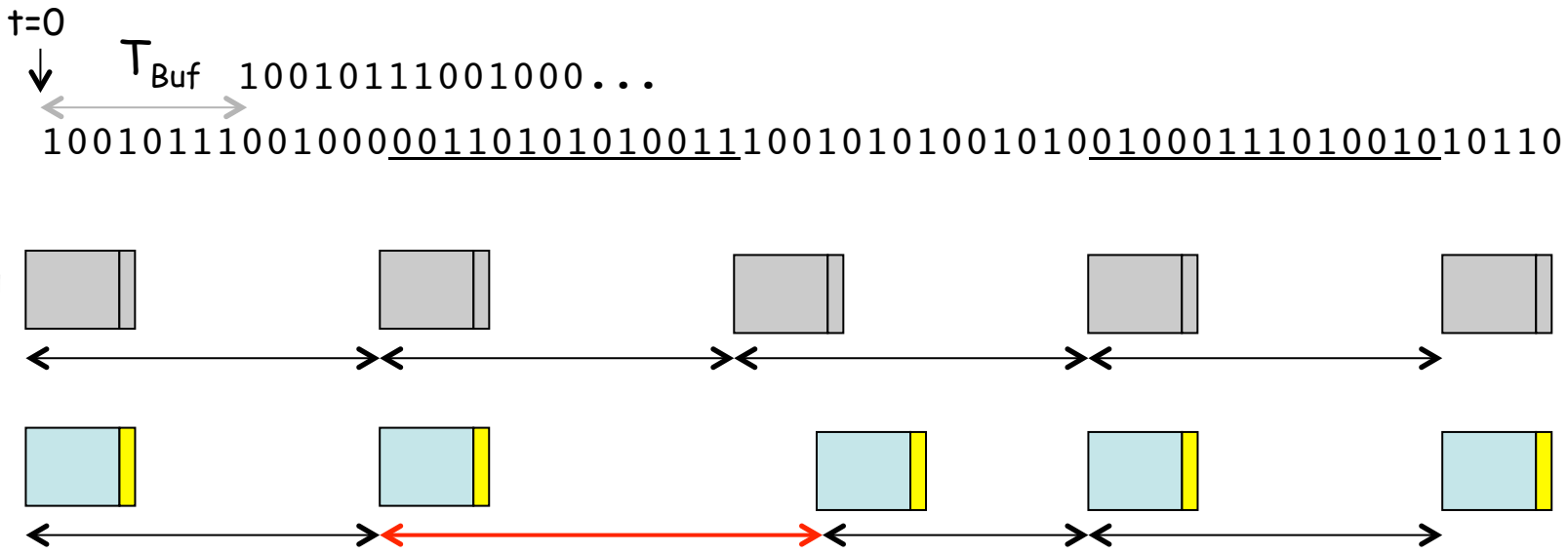
- Retrasar comienzo de la reproducción mediante buffering en el cliente
- Supongamos que en t=0 tiene el primer paquete y podría empezar a reproducir
- (...)



Efectos del PDV

Solución

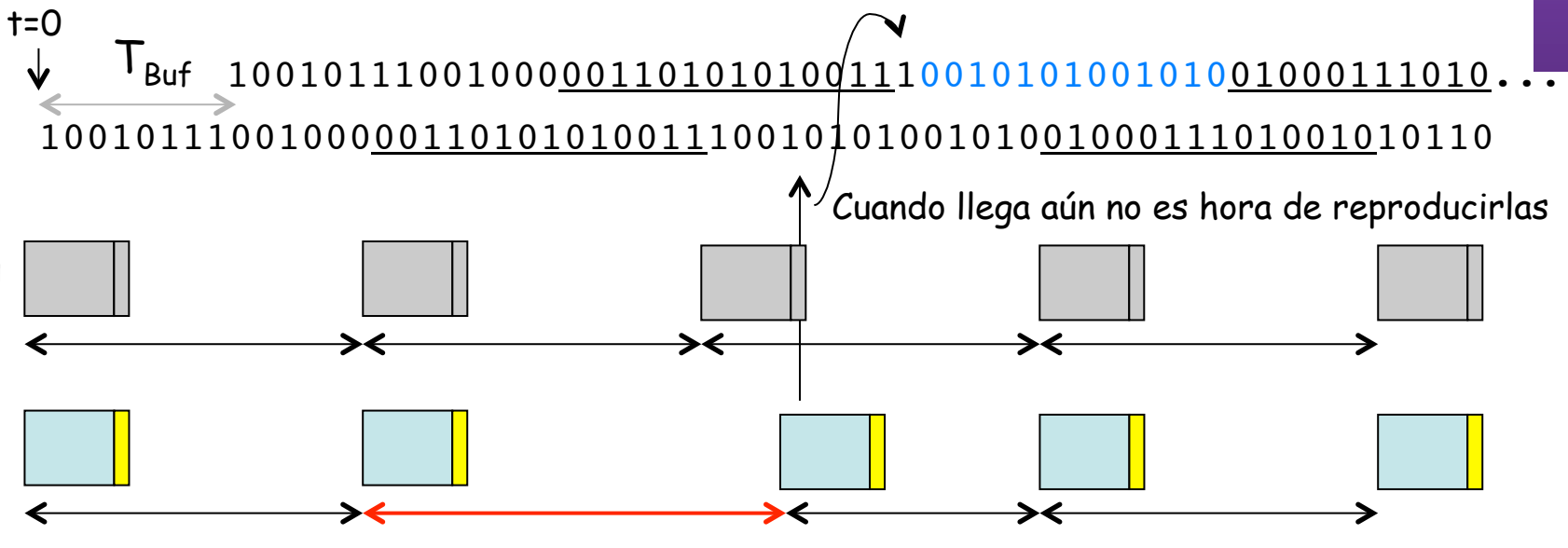
- Retrasar comienzo de la reproducción mediante buffering en el cliente
- Supongamos que en t=0 tiene el primer paquete y podría empezar a reproducir
- Se introduce en memoria durante T_{Buf} (mientras tanto pueden llegar más paquetes, según el tiempo que se desee y lo grande que sea T_{Buf})
- (...)



Efectos del PDV

Solución

- Retrasar comienzo de la reproducción mediante buffering en el cliente
- Supongamos que en t=0 tiene el primer paquete y podría empezar a reproducir
- Se introduce en memoria durante T_{Buf} (mientras tanto pueden llegar más paquetes, según lo grande que sea T_{Buf})
- El paquete muy retrasado entrará en el buffer y aún se estarán reproduciendo muestras de anteriores si su PDV es menor que T_{Buf}

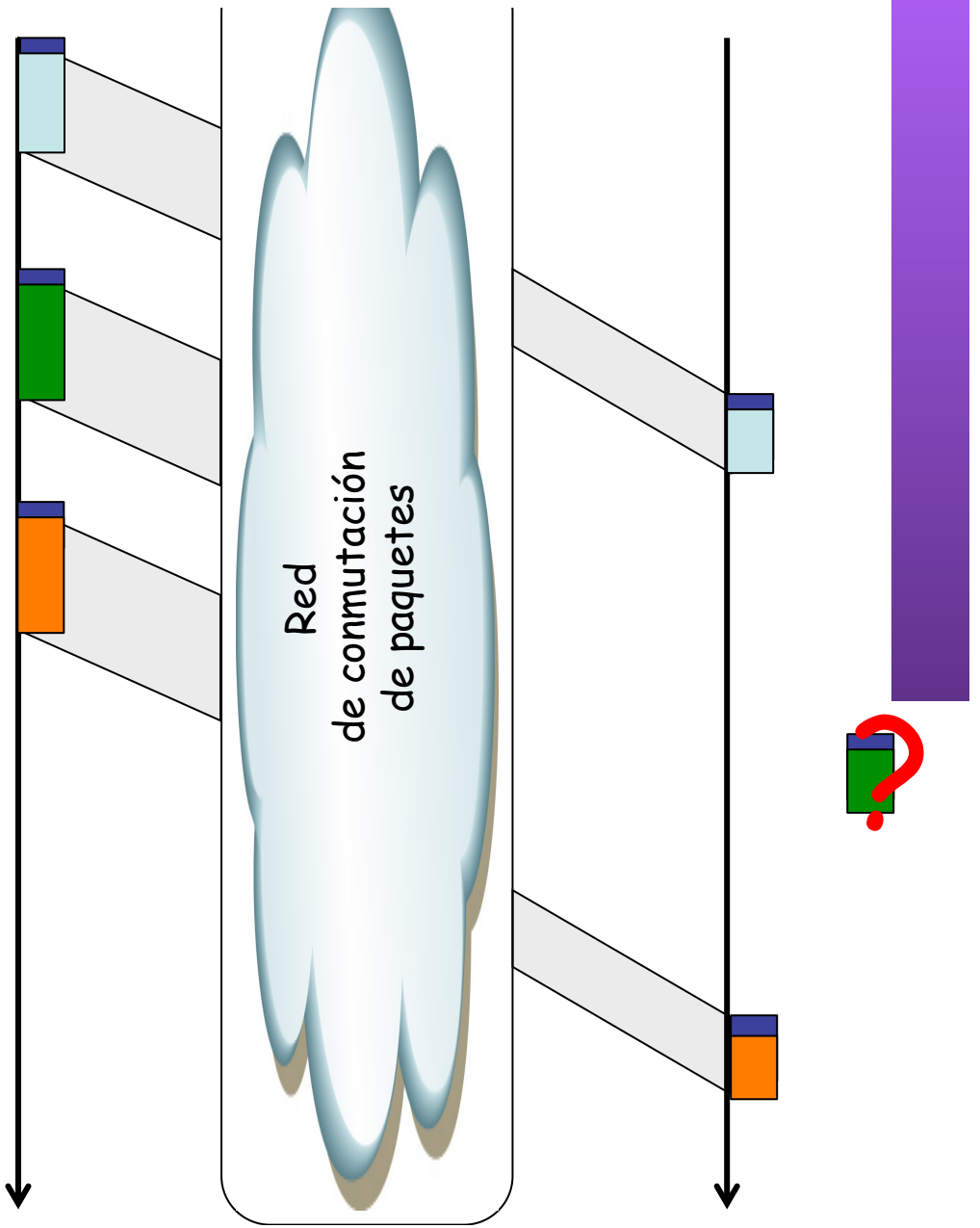


Pérdidas

- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

Posibles motivos

- Se corrompió y fue descartado en algún nodo de la red (CRCs)
- Se descartó en un nodo de la red por desbordamiento de buffer
- Se descartó por exceder el tiempo en la red

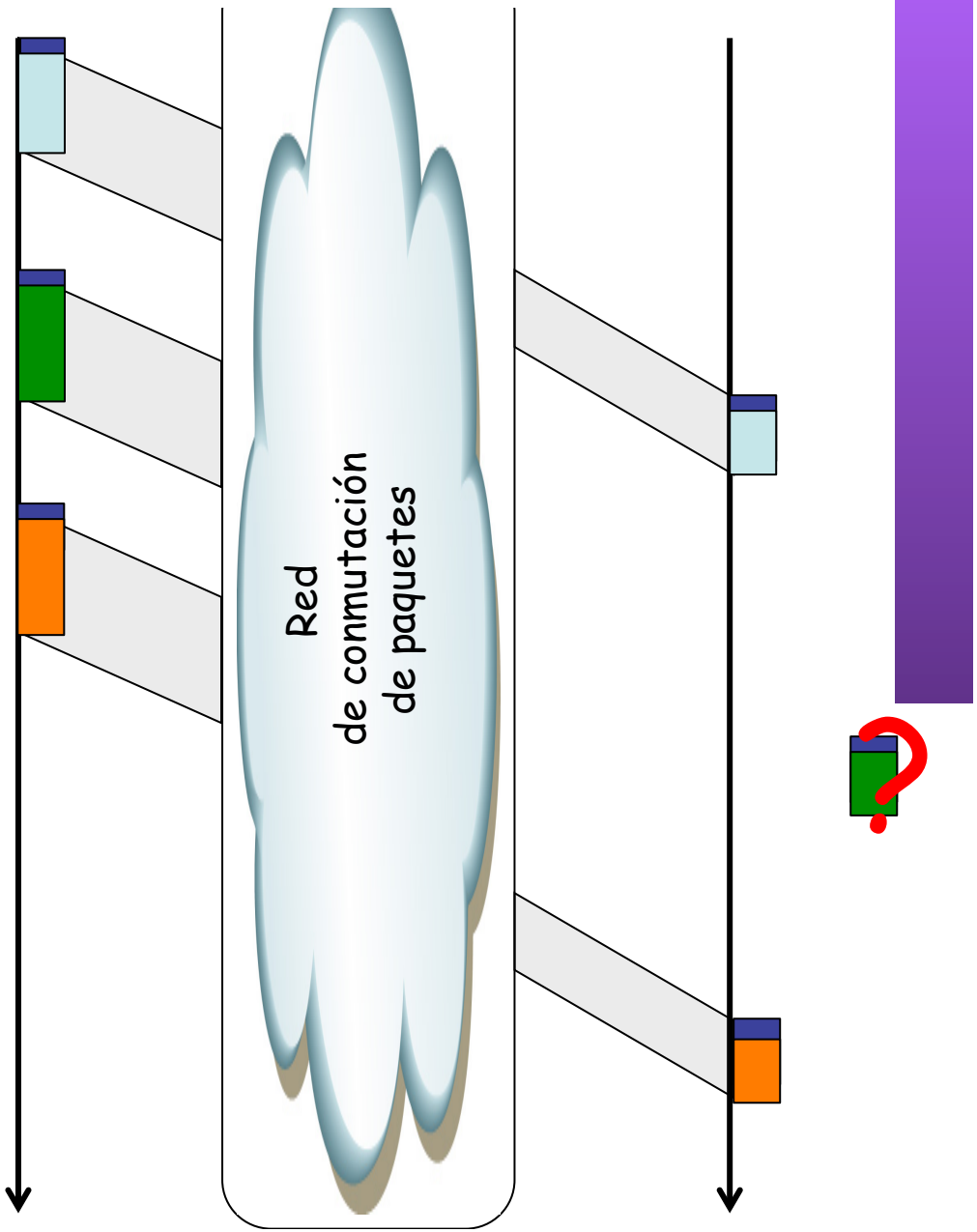


Pérdidas

- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

Posibles motivos

- (...)



Pérdidas

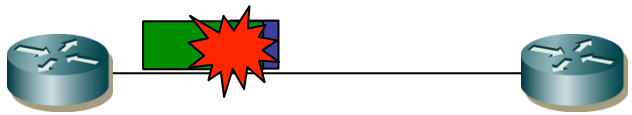
- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

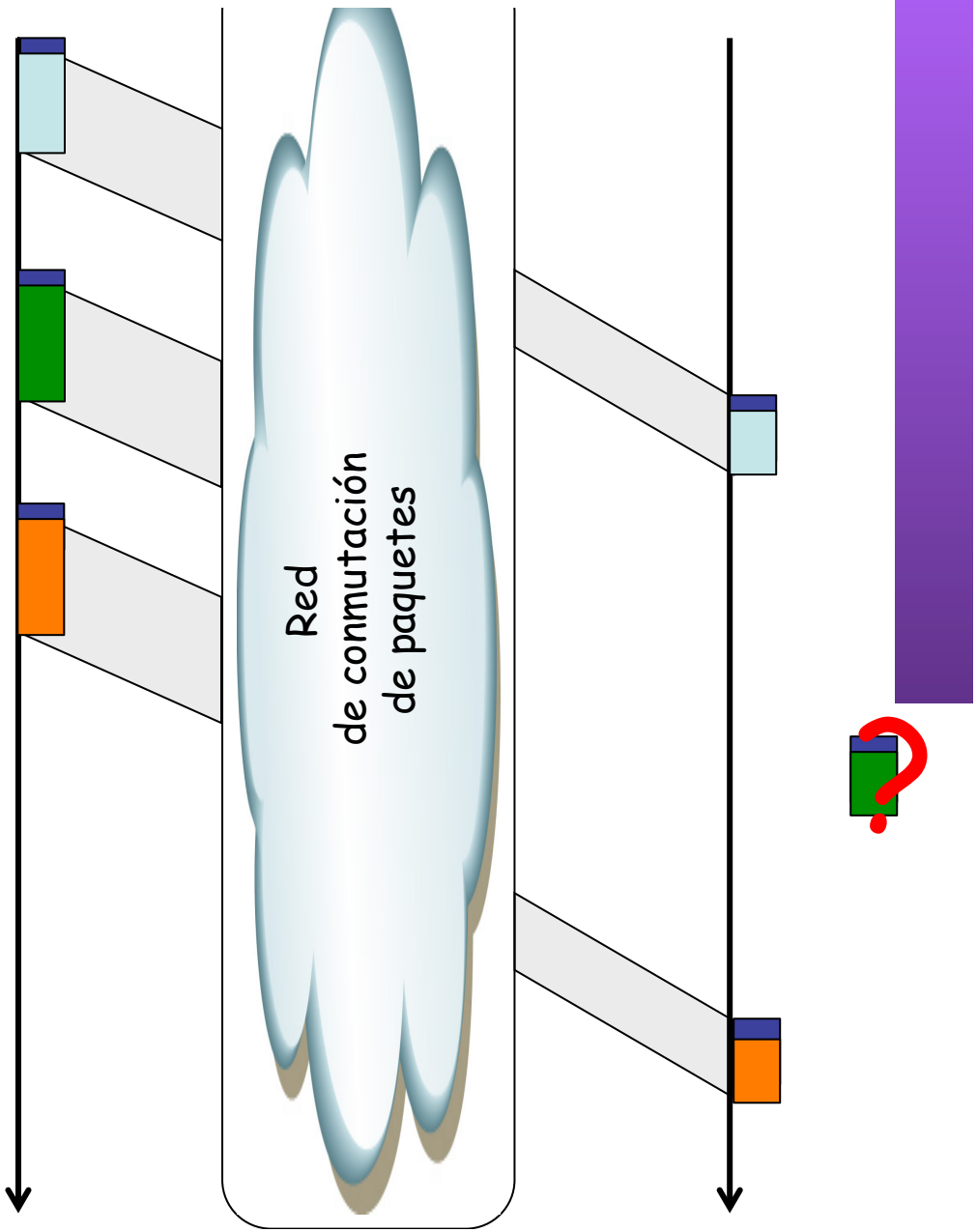
Posibles motivos

- Se corrompió y fue descartado en algún nodo de la red (CRCs)
- BER = Bit Error Rate
- Aproxima a la probabilidad de error de bit p_{err}
- Probabilidad de algún error en un paquete de N bits:

$$p_{epk} = 1 - (1 - p_{err})^N$$

- Asumiendo errores indep. (no ráfagas)
- Sin código "corrector" de errores
- Ejemplo: $p_{err}=10^{-6}$, N=12.000 ➔ ➔ $p_{epk}\approx 10^{-2}$
- (...)



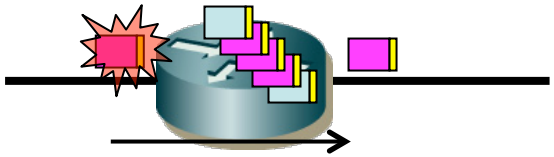


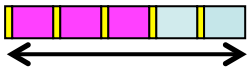
Pérdidas

- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

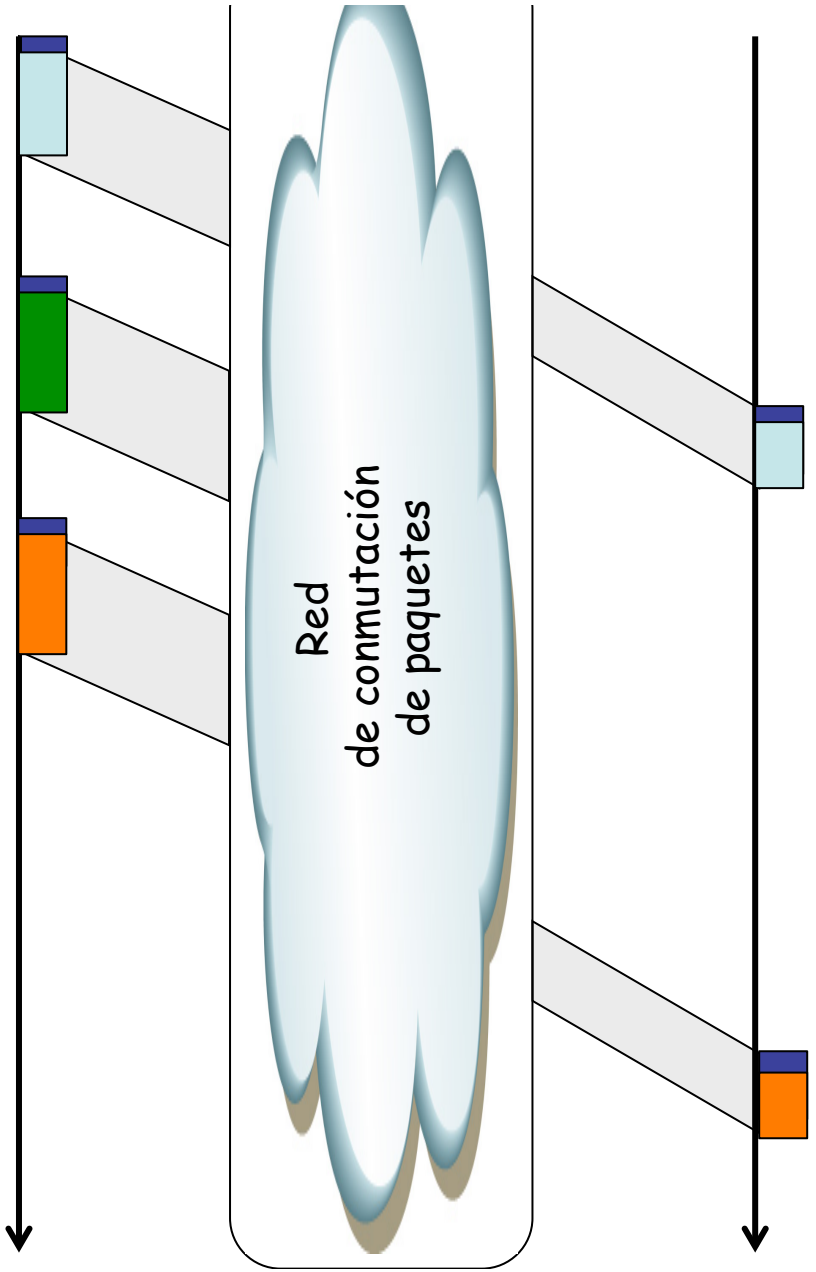
Posibles motivos

- Se descartó en un nodo de la red por desbordamiento de buffer
- (...)





Tamaño del buffer

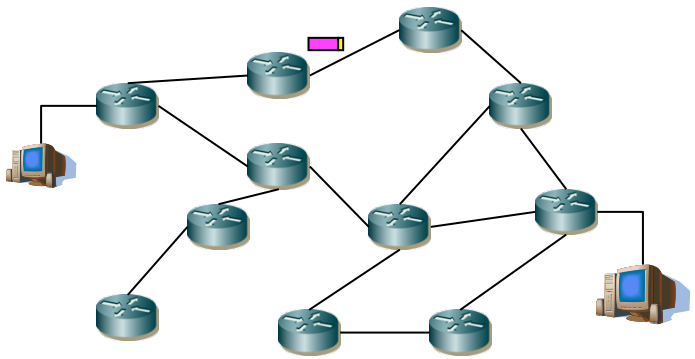


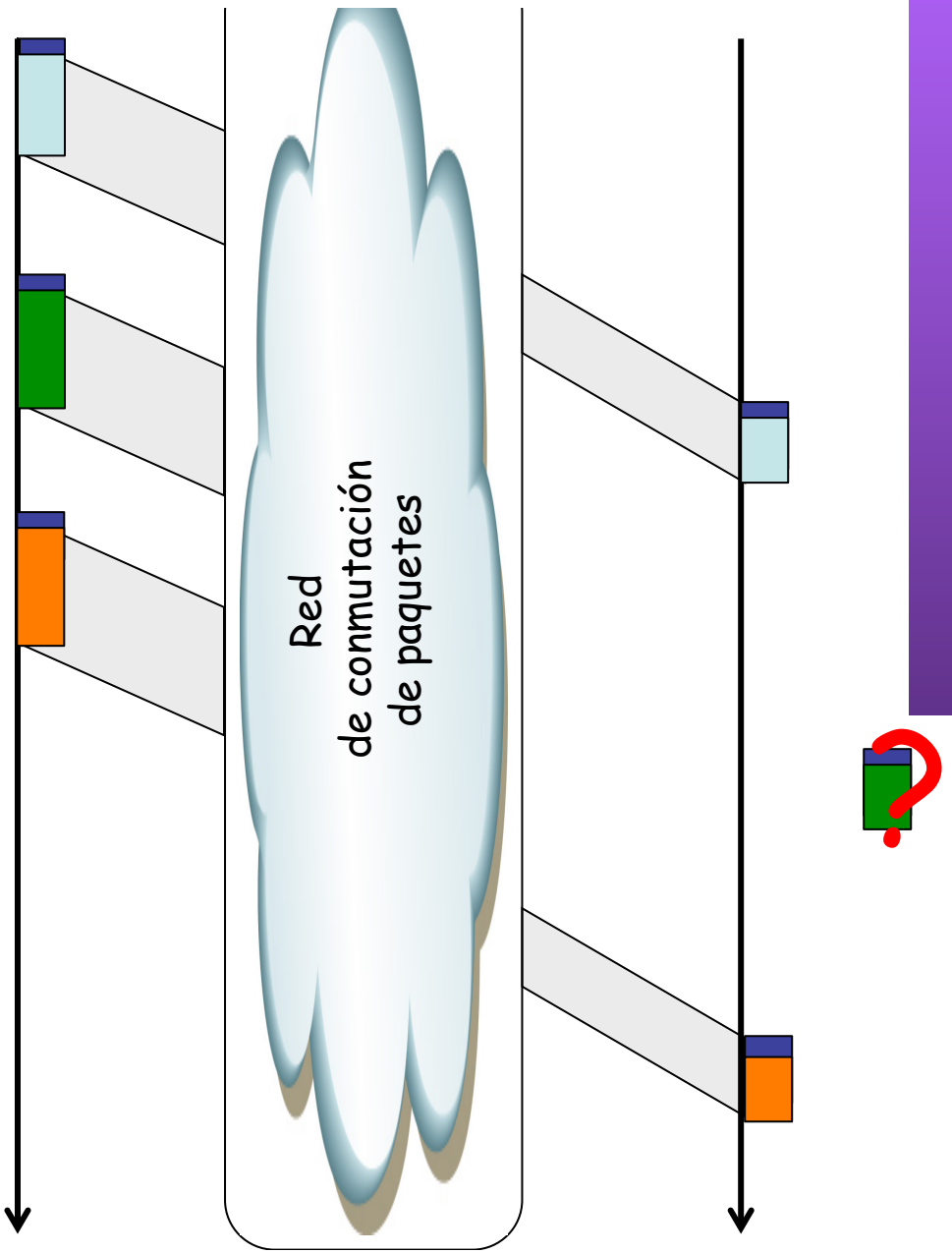
Pérdidas

- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

Posibles motivos

- Se descartó por exceder el tiempo en la red





Problemas

Problemas de redes de circuitos

- **Encaminamiento**
  - Cuando se pide a la red establecer una llamada
  - A partir de la dirección de destino decidir por dónde reservar enlaces desde el origen al destino.
- **Bloqueo**
  - Si en algún punto la llamada necesita recursos no disponibles: no se establecerá y el usuario no recibe servicio.
  - Diseñar las redes de circuitos para que el bloqueo no se produzca o tenga una probabilidad baja

Problemas de redes de paquetes

- **Encaminamiento**
  - Por cada paquete que debe reenviar un nodo debe decidir por qué camino reenviarlo (a qué vecino entregárselo)
- **Bloqueo:** No hay, la red acepta todos los paquetes.

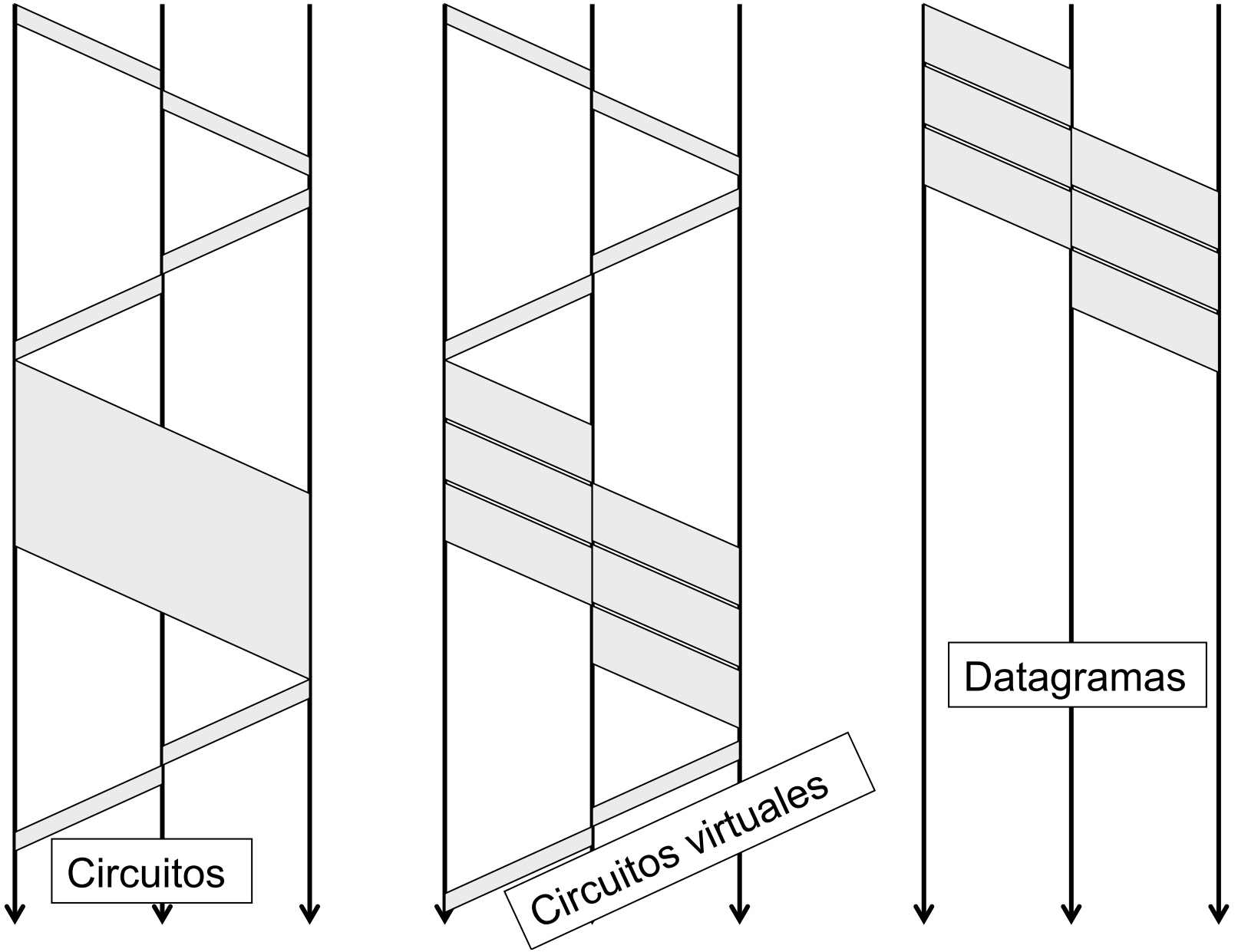
Nuevos problemas:

- **Transporte fiable**
  - ¿Qué pasa si un paquete no se entrega?
- **Control de flujo**
  - ¿Qué pasa si llega un paquete a un destino que está muy ocupado para aceptarlo?
- **Congestión**
  - ¿Qué pasa si la red está aceptando demasiados paquetes y el retardo de entrega crece demasiado?

Implementaciones reales

- Conmutación de circuitos:
  - Red Telefónica Básica (RTB)
  - Red Digital de Servicios Integrados (RDSI)
- Conmutación de paquetes (circuitos virtuales)
  - X.25
  - Frame Relay
  - ATM
  - MPLS (con ingeniería de tráfico)
- Conmutación de paquetes (datagramas)
  - IP, IPX, CLNP

Tiempos



¿Circuitos o Paquetes?

- Las prestaciones dependen de varios factores
  - Tiempo de propagación
  - Tiempo de transmisión
  - Tiempo de proceso del nodo
- Muchas otras características:
  - Transparencia
  - Cantidad de *overhead*
  - Fiabilidad y robustez
  - Simplicidad de la arquitectura
  - …

Resumen

- En redes de conmutación de paquetes:
  - Retardo, pérdidas y variación del retardo
  - El retardo múltiples componente
- En redes de conmutación de circuitos:
  - Encaminamiento y bloqueo
- En redes de conmutación de datagramas problemas adicionales de control de flujo, congestión, etc.