# Paradigmas de conmutación

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

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios
Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 2º

# Temario

1. Introducción
2. **Arquitecturas de conmutación y protocolos**
   - Elementos, protocolos y arquitecturas de protocolos
   - Arquitecturas OSI y TCP/IP
   - Servicios, interfaces, funcionalidades
   - Conmutación de circuitos y de paquetes
   - **Retardos de** transmisión, propagación, **procesado, cola**
   - **Variación del retardo, pérdidas y throughput**
3. Introducción a las tecnologías de red
4. Control de acceso al medio
5. Conmutación de circuitos
6. Transporte fiable
7. Encaminamiento
8. Programación para redes y servicios

# Objetivos

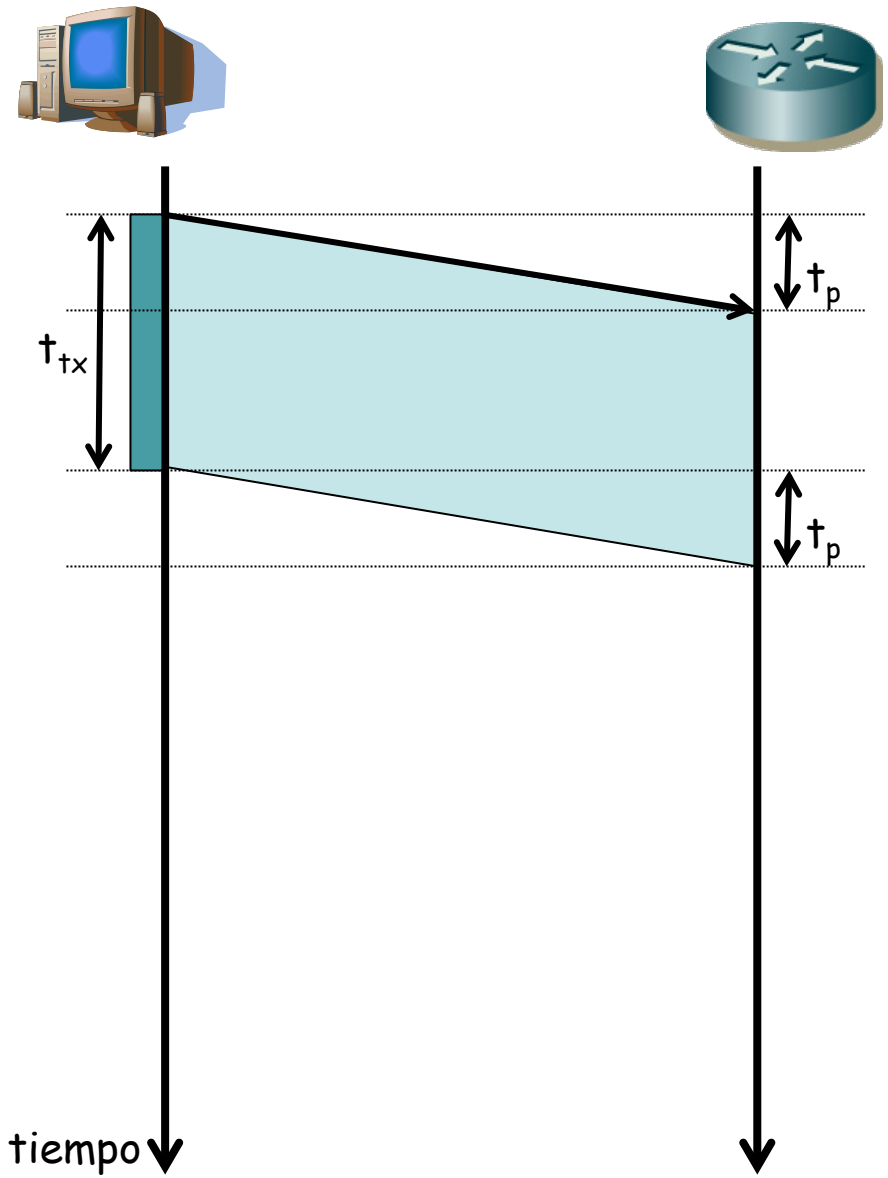
- Diferenciar y saber trabajar con **retardos** de propagación y transmisión en redes con almacenamiento y reenvío
- Comprender el origen y comportamiento general del retardo en cola
- Saber que existe la **variación del retardo** en redes de conmutación de paquetes, a qué se debe y qué efectos tiene
- Conocer la existencia y los motivos de las **pérdidas** en redes de conmutación de paquetes
- Entender qué es un cuello de botella

# Contenido

- Retardos
  - Retardo de procesado
  - Retardo en cola
- Efectos del tamaño del paquete
- Throughput
- Packet Delay Variation
- Pérdidas
- Problemas de circuitos y paquetes

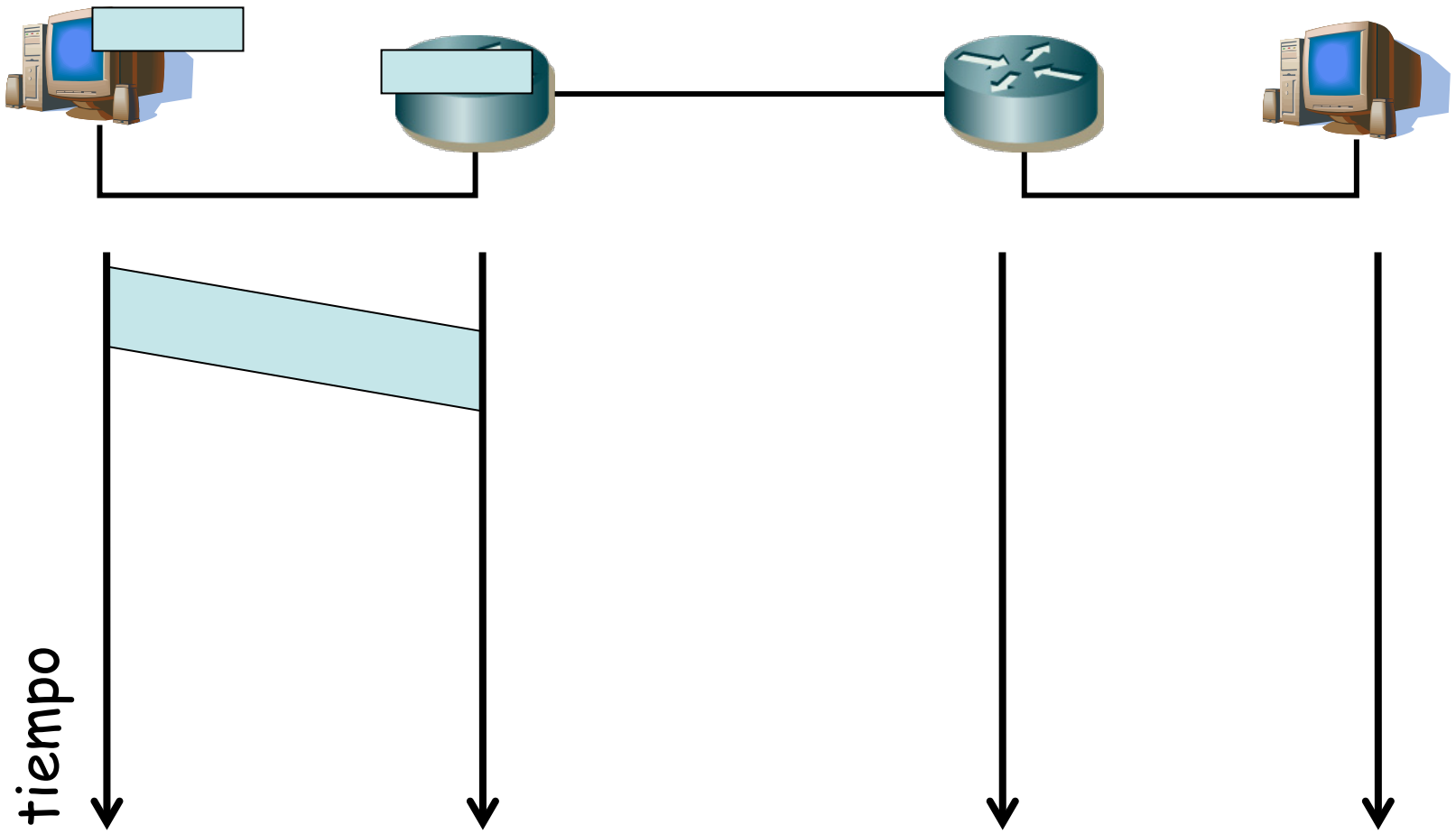
# Retardos en conmutación de paquetes

# Transmisión y propagación



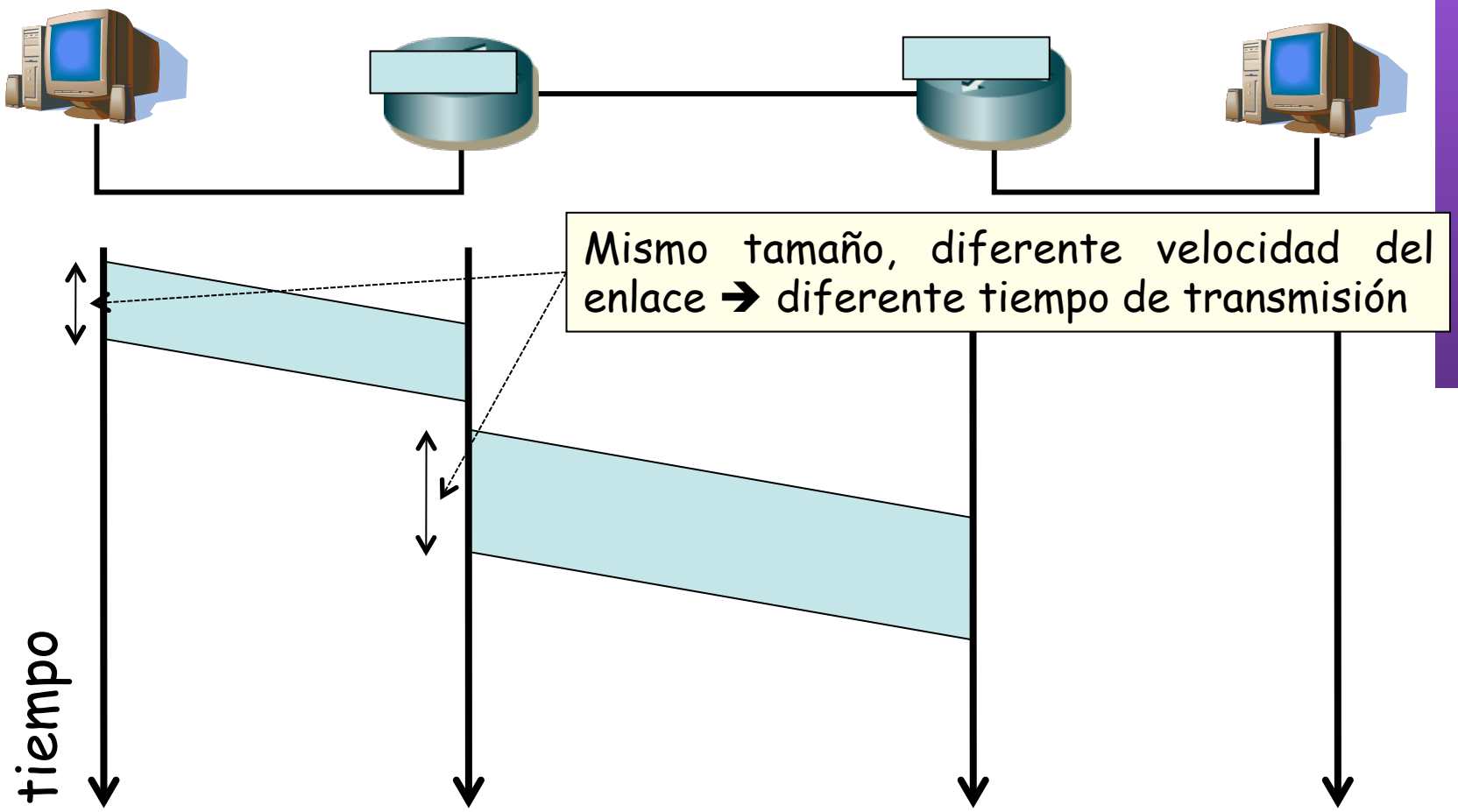
# *Store-and-forward*

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



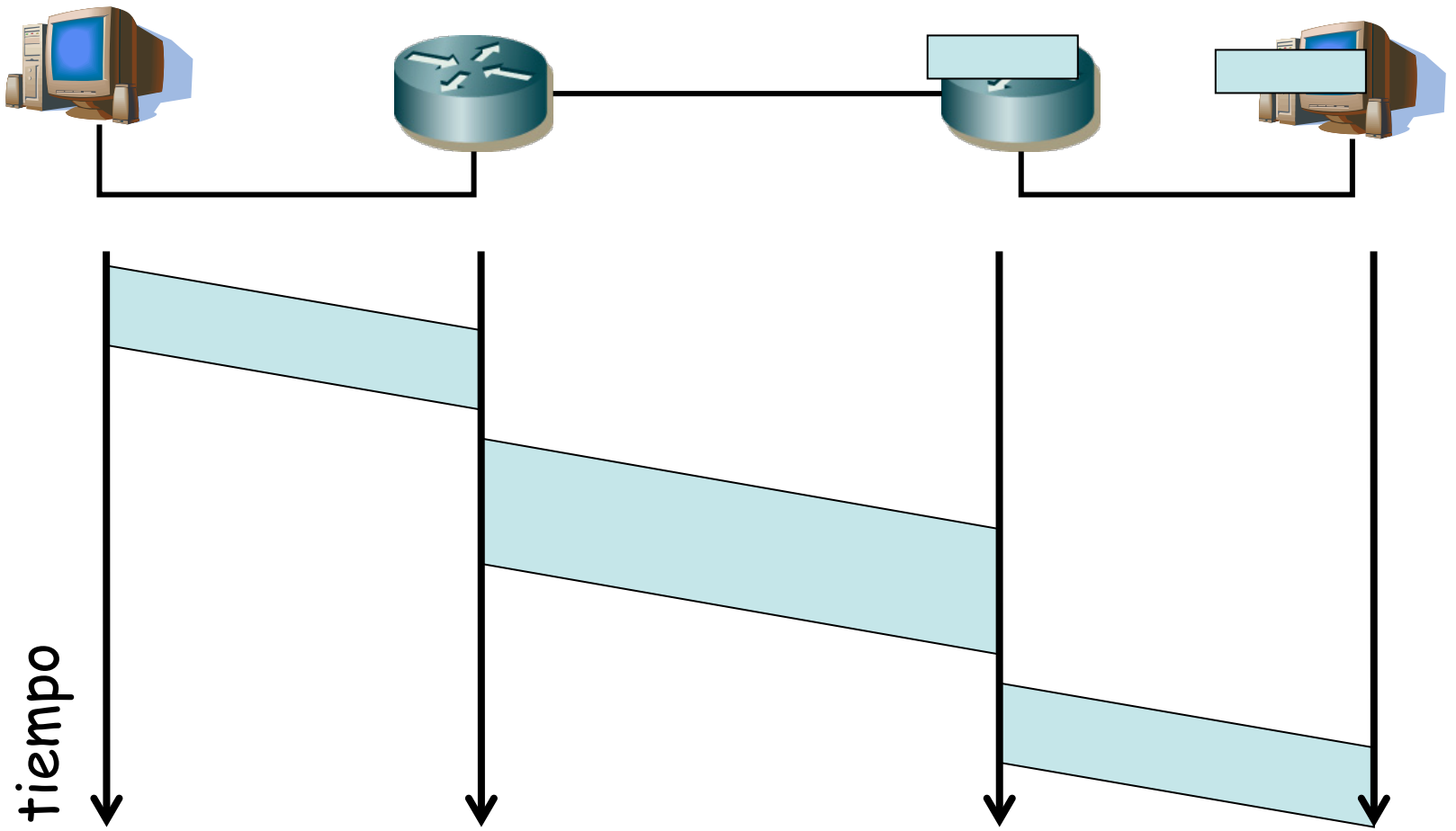
# *Store-and-forward*

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



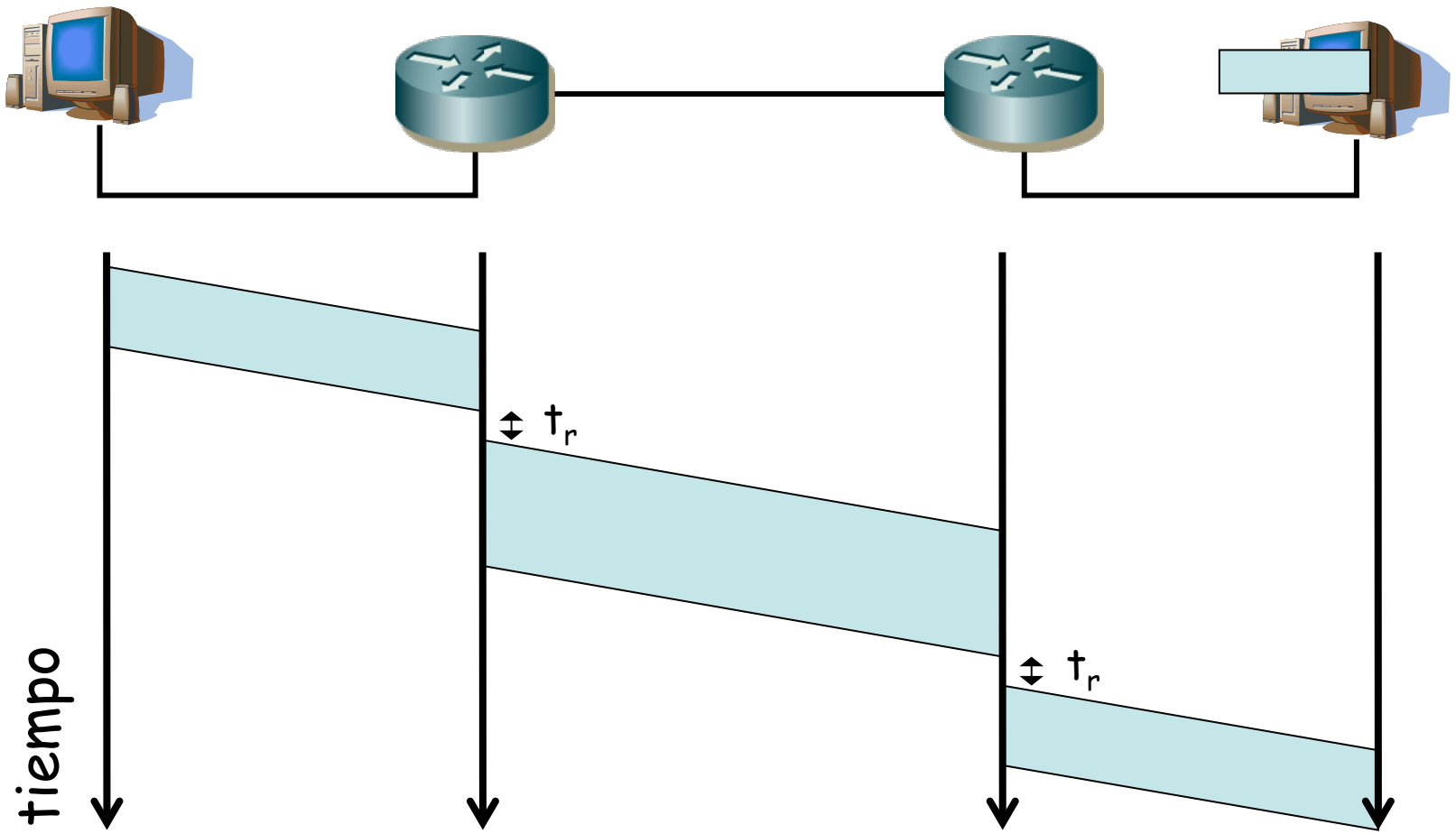
# *Store-and-forward*

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



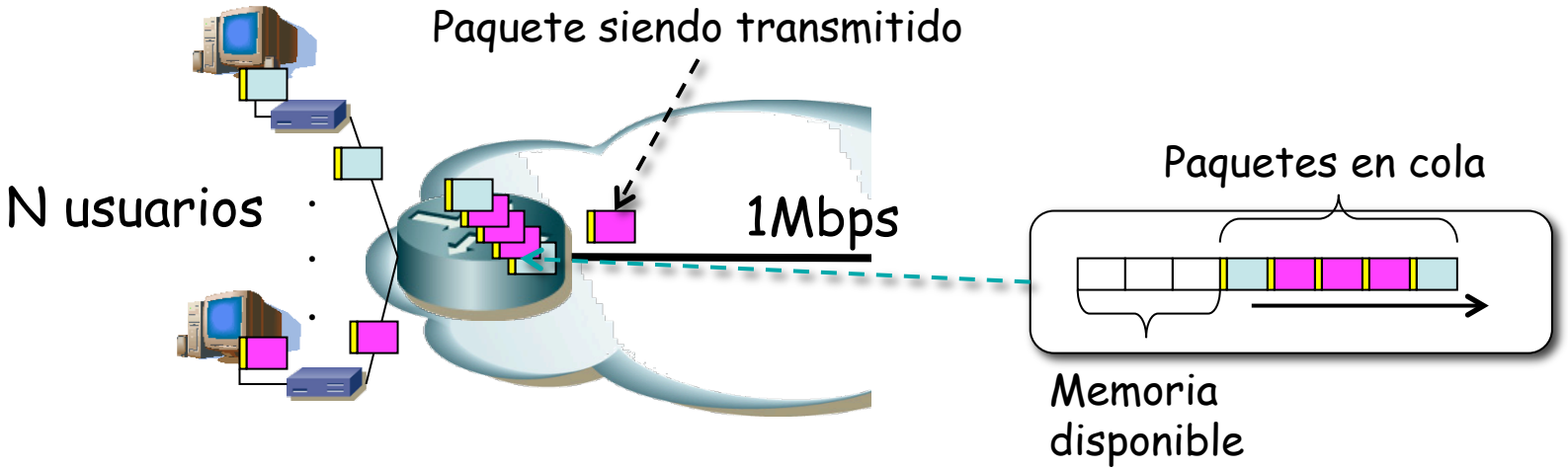
# Tiempo de procesado

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



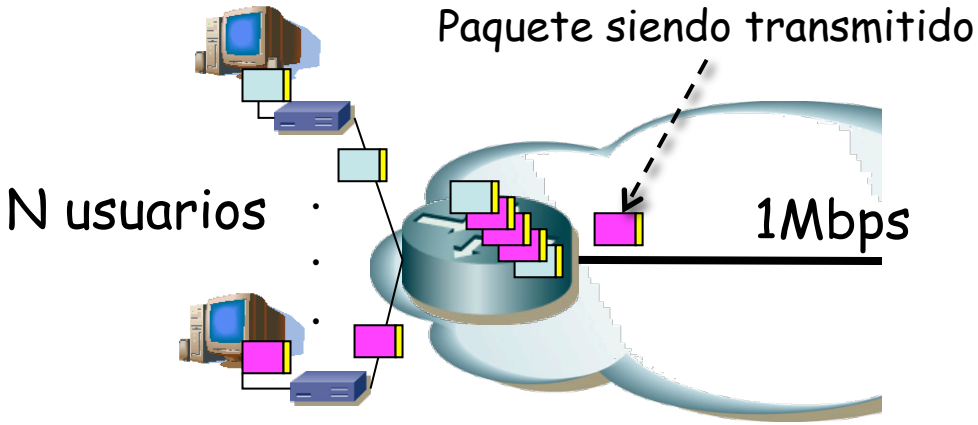
# Retardo en cola

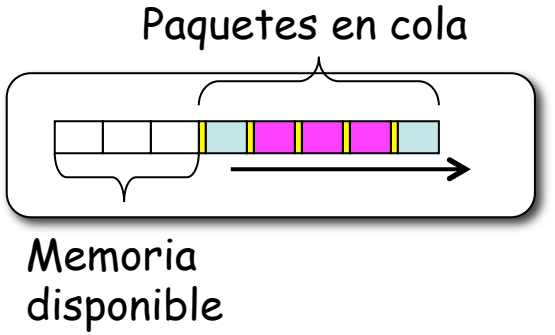
- Los paquetes pueden llegar al router a una velocidad mayor que la capacidad del enlace de salida
- O pueden llegar varios simultáneamente por enlaces diferentes pero solo puede salir uno a la vez
- El router los almacena en memoria hasta poder enviarlos
- Esperan en una *cola* (normalmente en el interaz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



# Planificación

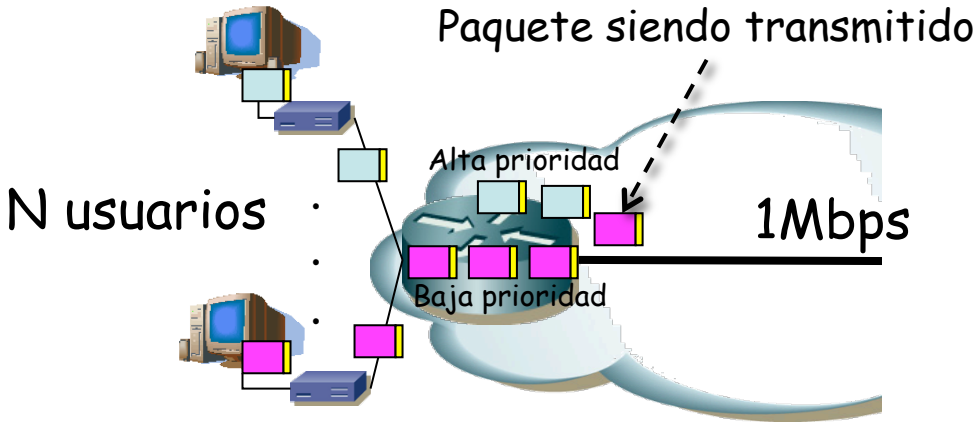
- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- FCFS: *First Come First Served*
  - También llamado FIFO (First In First Out)
  - Trato equitativo a diferentes flujos/usuarios/aplicaciones
  - Un paquete que requiera bajo retardo (voz) tiene que esperar a que se sirvan todos los anteriores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

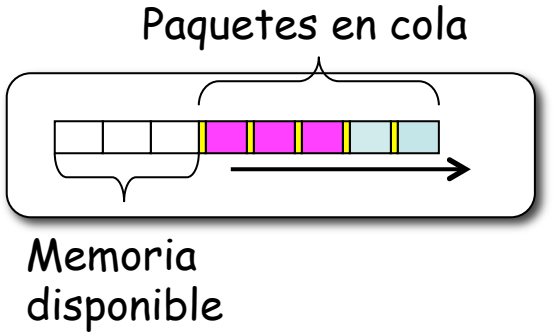


# Planificación

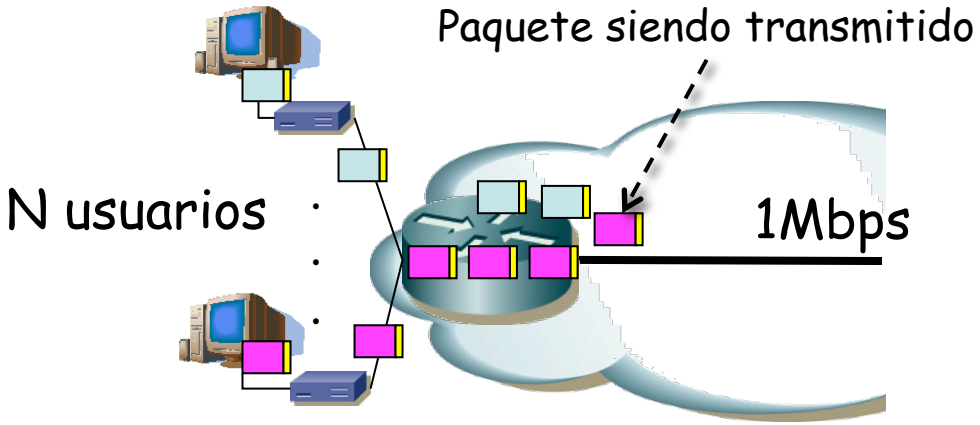
- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- **¿Otras alternativas?**
- Prioridades:
  - Clasificar los paquetes de entrada
  - Cada clase tiene una prioridad diferente
  - Solo se envían paquetes de una clase si las clases de prioridad superior no tienen paquetes en la memoria del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

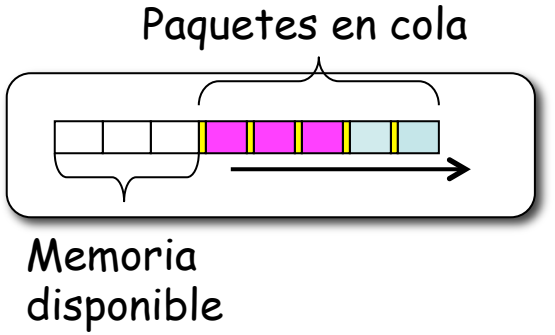


# Planificación

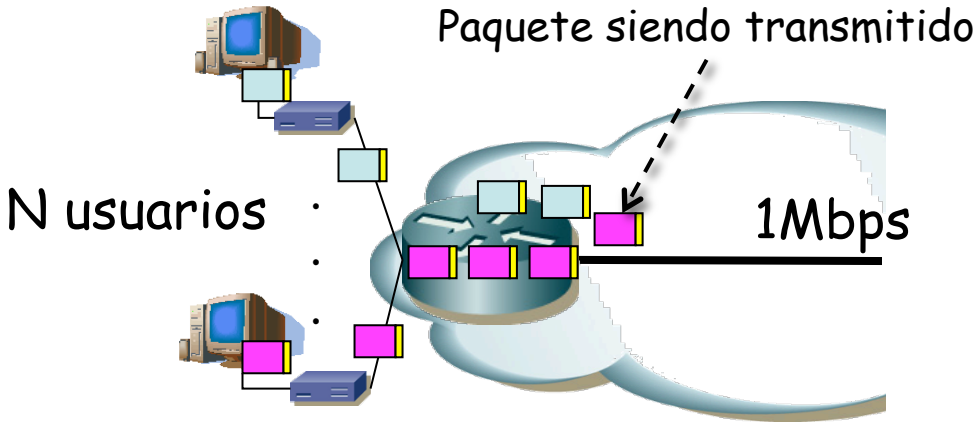
- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- **¿Otras alternativas?**
  - Round Robin
  - Weigthed Round Robin
  - Deficit Round Robin
  - Generalized Processor Sharing
  - Weigthed Fair Queueing
  - ...

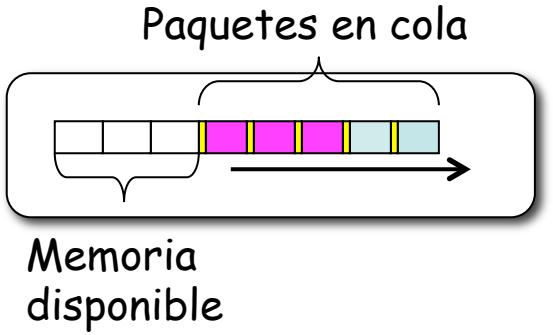


# Planificación

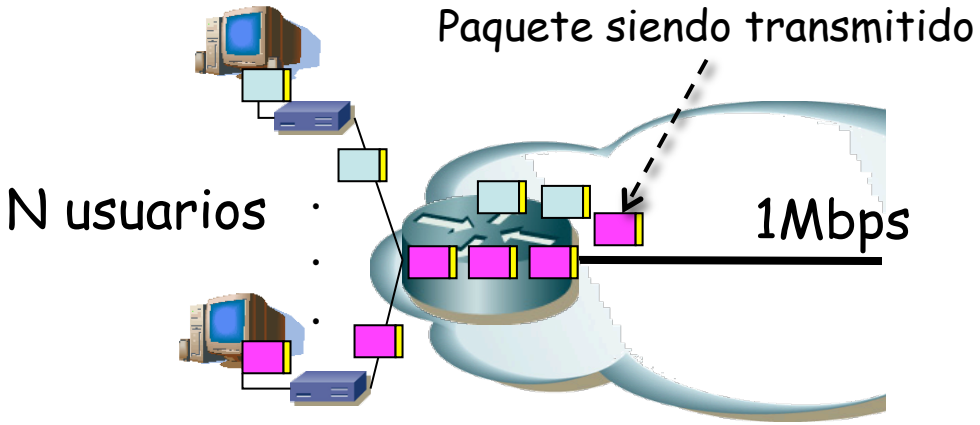
- ¿ En qué orden se atiende a los paquetes que hay en la cola ?
- ¿Otras alternativas?
- **Buscan:**
  - Hacer un reparto “justo” (*max-min fair*)
  - Protección: un flujo no pueda acaparar todos los recursos
  - Asegurar límites (al retardo, jitter, pérdidas...) predecibles
  - Simplicidad de implementación

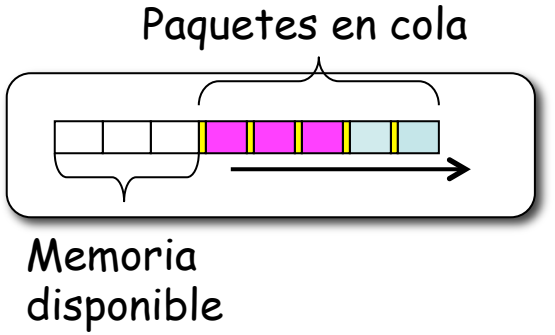


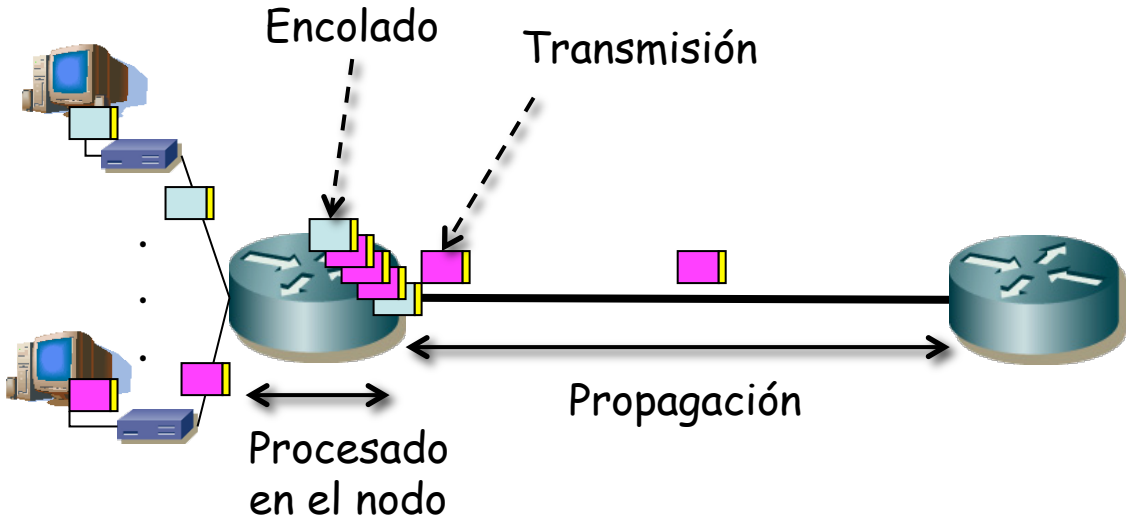
# Planificación

- ¿ 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*)



# Retardos




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

**$d_{proc}$** = tiempo de procesado
- Unos µs

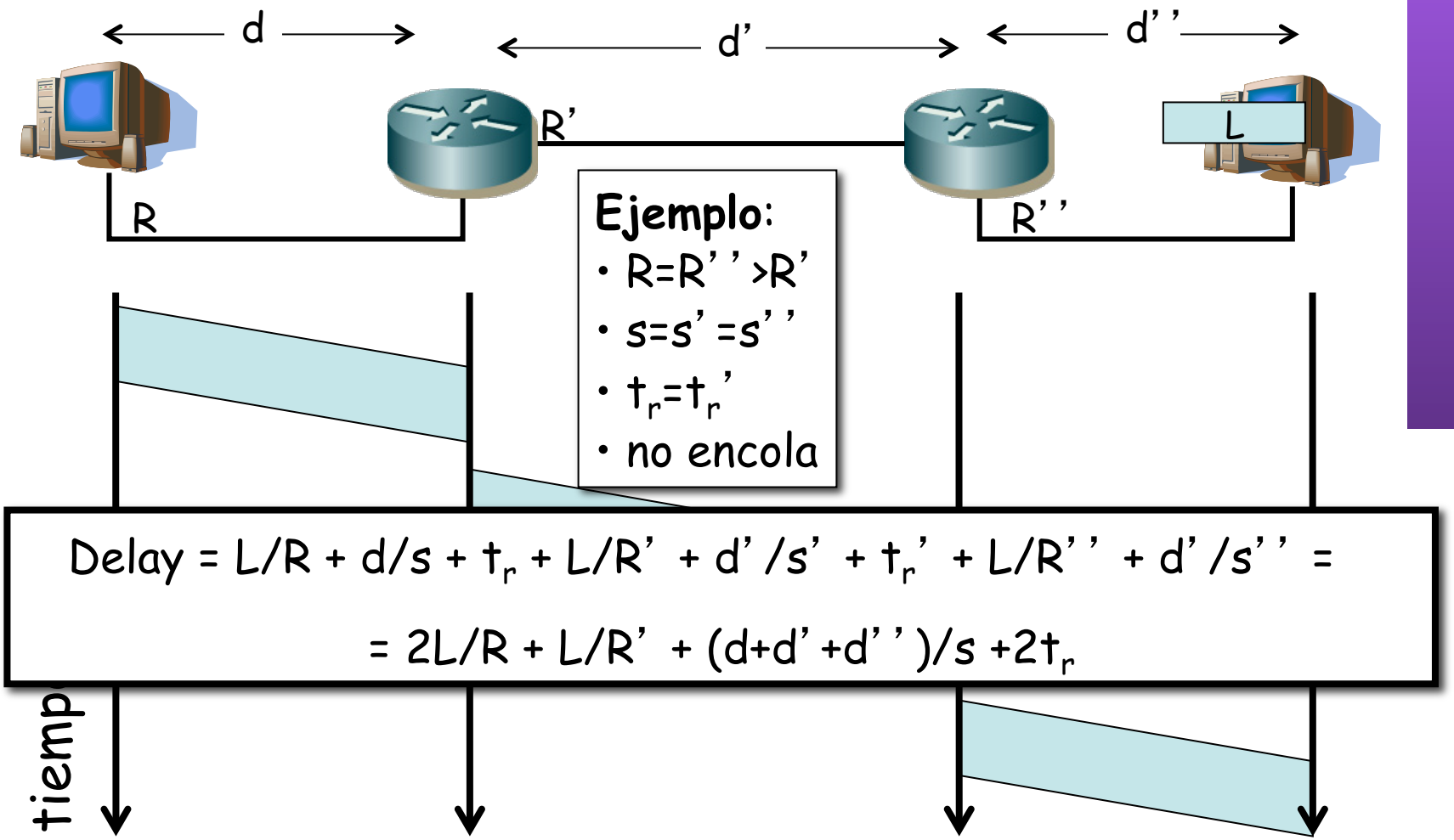
**$d_{cola}$** = retardo en cola
- Depende de la congestión

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

**$d_{prop}$** = retardo propagación
- De unos µs a centenares de ms

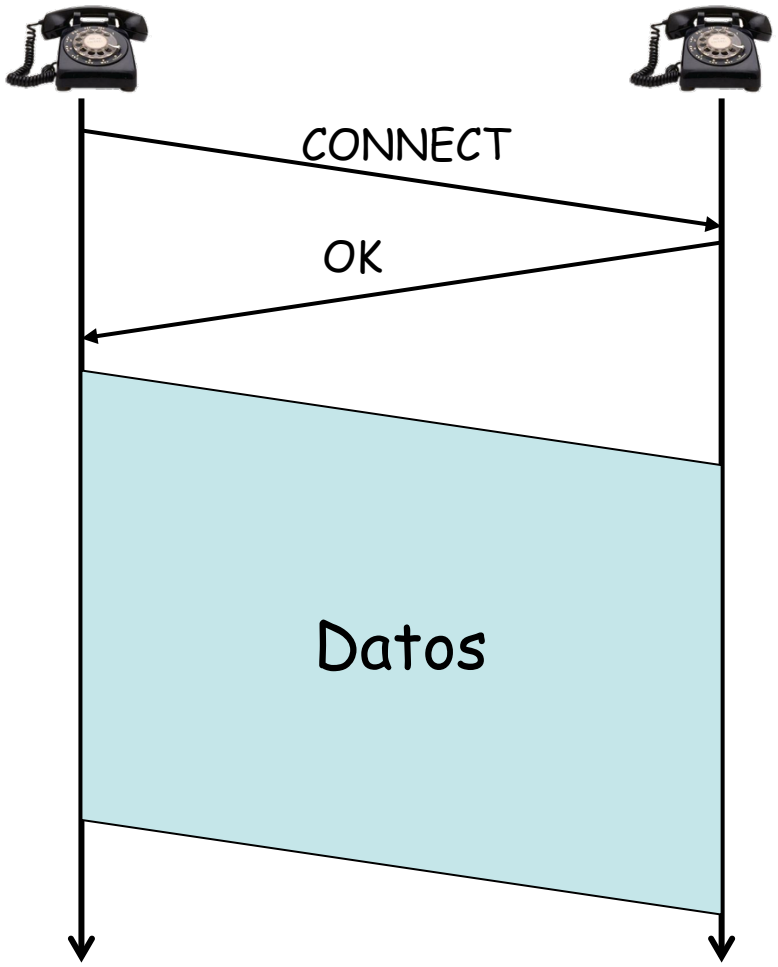
# Ejemplo

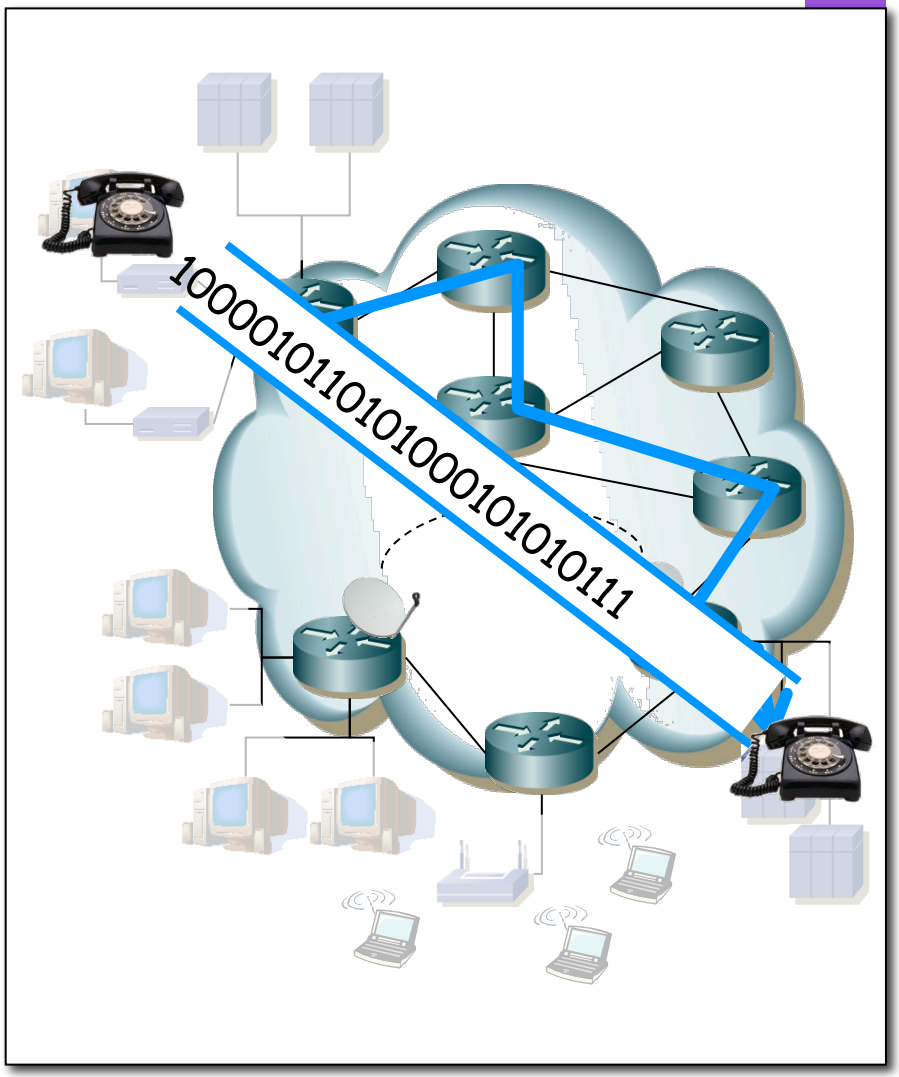
- Conmutación de paquetes



# Comparar con...

- Conmutación de circuitos



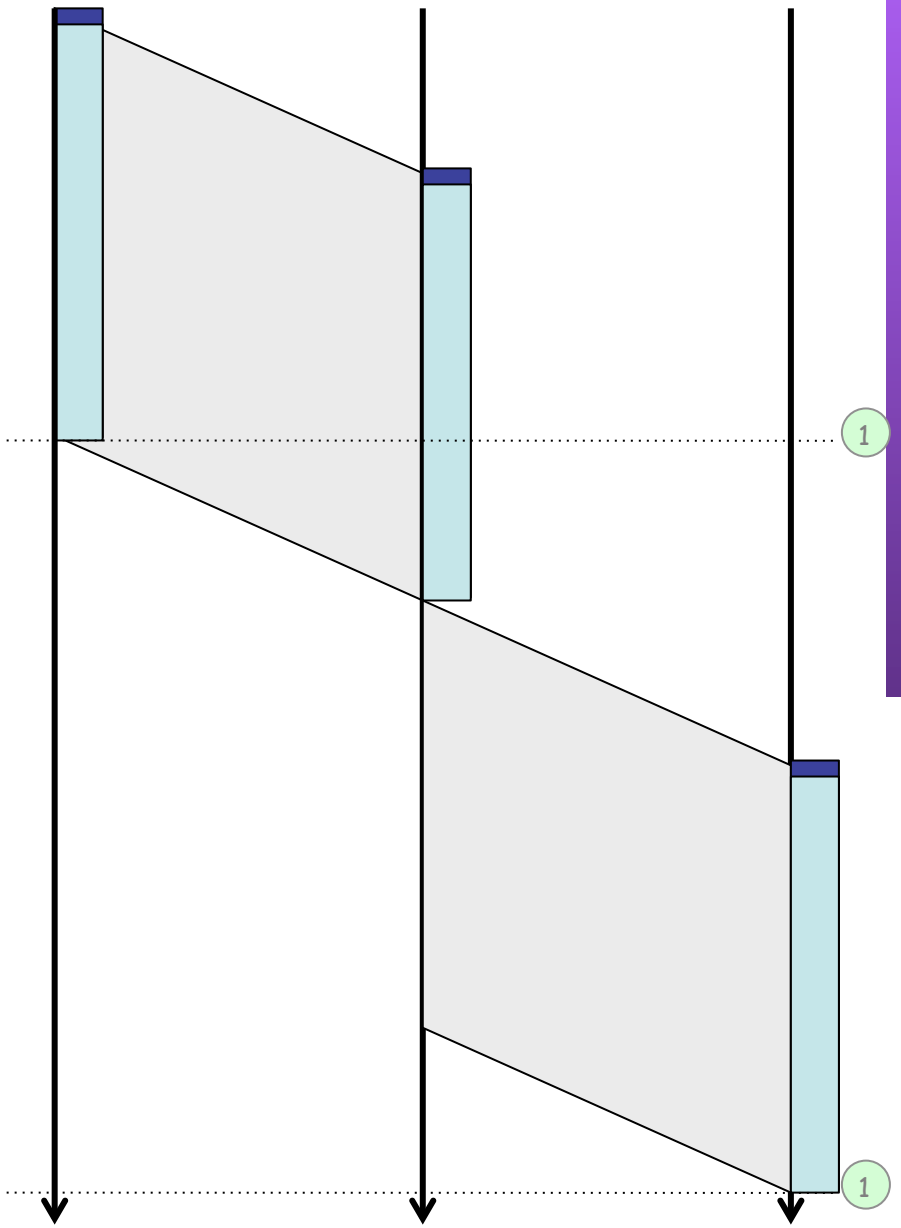
# Efecto del tamaño del paquete

**Mayor tamaño:**

- Menos cabeceras, más eficiencia

**Menor tamaño:**

- (...)



# Efecto del tamaño del paquete

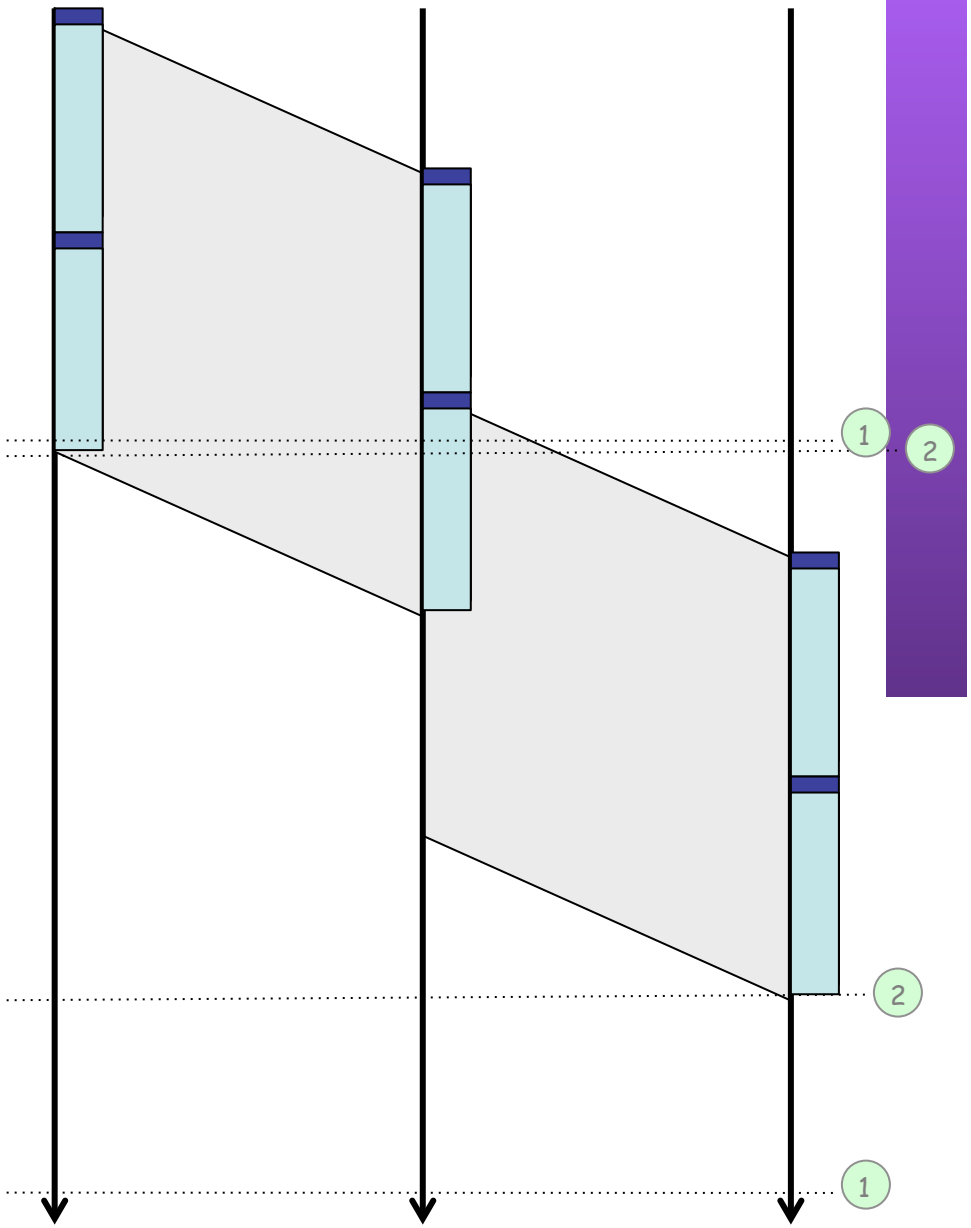
**Mayor tamaño:**

- Menos cabeceras, más eficiencia

**Menor tamaño:**

- Menos tiempo a esperar por *store and forward*

*(…)*



# Efecto del tamaño del paquete

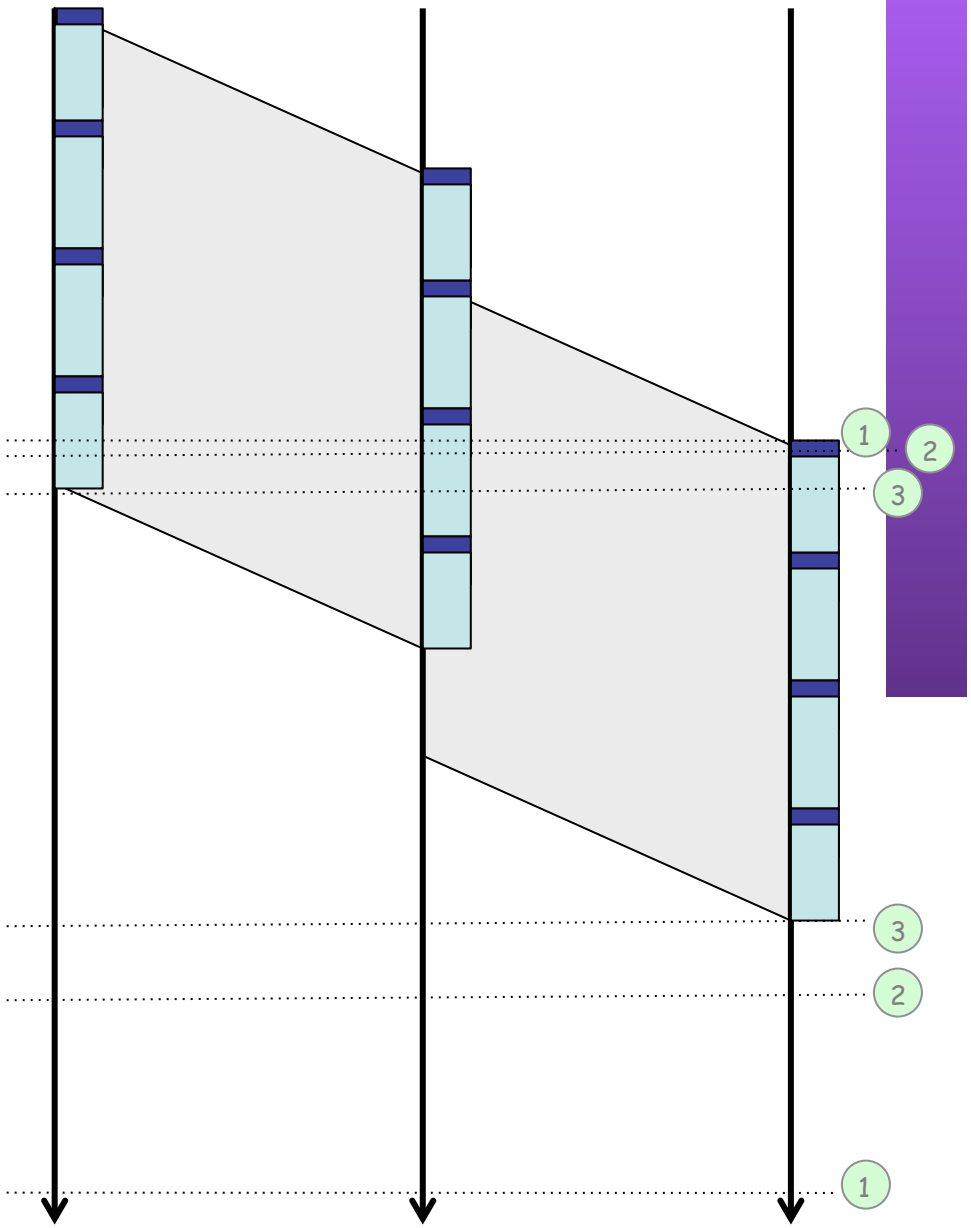
**Mayor tamaño:**

- Menos cabeceras, más eficiencia

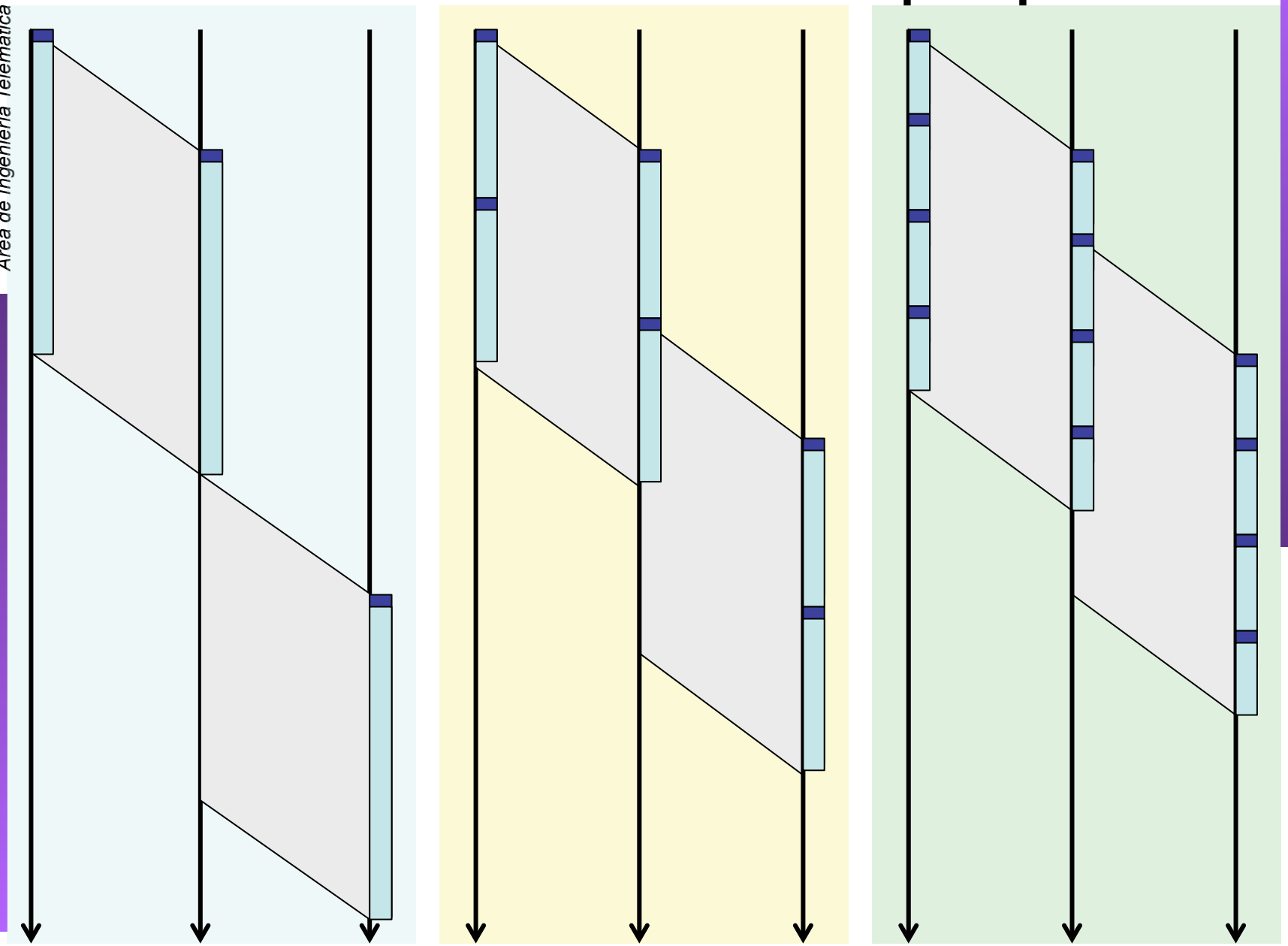
**Menor tamaño:**

- Menos tiempo a esperar por *store and forward*

*(…)*



# Efecto del tamaño del paquete

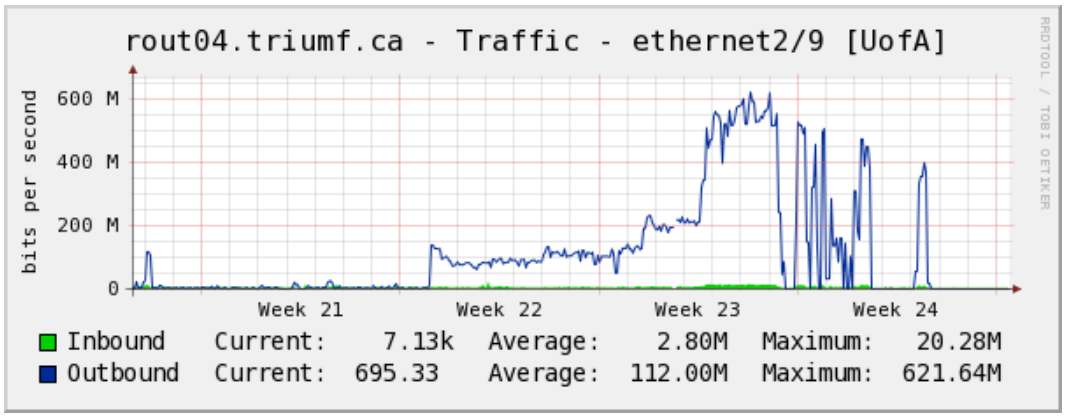


# Contenido

- Retardos
  - Retardo de procesado
  - Retardo en cola
- Efectos del tamaño del paquete
- Throughput
- Packet Delay Variation
- Pérdidas
- Problemas de circuitos y paquetes

# 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



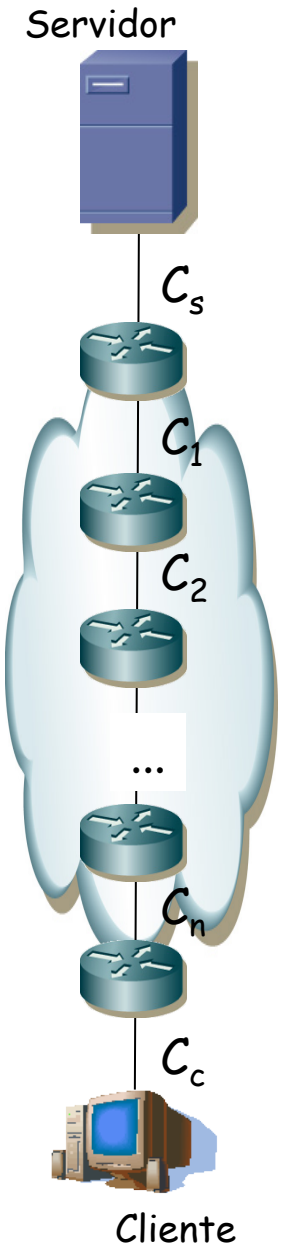
# [ Un apunte: unidades ]

- 8 bits = 1 Byte
- Cuando hablamos de datos transferidos
  - Para mayores cantidades se usan potencias de 2 en vez de potencias de 10
  - 1 kByte = 1.024 Bytes = $2^{10}$ Bytes ... NO 1.000 Bytes
  - Se le suele llamar “kilobyte” aunque en realidad es incorrecto y oficialmente es un “kibibyte”
  - Igualmente decimos “megabyte” para 1 MByte = $2^{20}$ bytes cuando es en realidad un “mebibyte”, “gibigyte” ($2^{30}$) y “tebibyte” ($2^{40}$)
- Cuando hablamos de velocidades de transmisión de datos
  - Usamos los prefijos del sistema internacional
  - 1 kbps = $10^3$ = 1.000 bps, 1 Mbps = $10^6$ = 1.000.000 bps, 1 Gbps = $10^9$ bps


| Prefix | Symbol for Prefix | | Scientific Notation |
|---|---|---|---|
| exa | E | 1 000 000 000 000 000 000 | $10^{18}$ |
| peta | P | 1 000 000 000 000 000 | $10^{15}$ |
| tera | T | 1 000 000 000 000 | $10^{12}$ |
| giga | G | 1 000 000 000 | $10^{9}$ |
| mega | M | 1 000 000 | $10^{6}$ |
| kilo | k | 1 000 | $10^{3}$ |
| hecto | h | 100 | $10^{2}$ |
| deka | da | 10 | $10^{1}$ |
| ---- | -- | 1 | $10^{0}$ |
| deci | d | 0.1 | $10^{-1}$ |
| centi | c | 0.01 | $10^{-2}$ |
| milli | m | 0.001 | $10^{-3}$ |
| micro | µ | 0.000 001 | $10^{-6}$ |
| nano | n | 0.000 000 001 | $10^{-9}$ |
| pico | p | 0.000 000 000 001 | $10^{-12}$ |
| femto | f | 0.000 000 000 000 001 | $10^{-15}$ |
| atto | a | 0.000 000 000 000 000 001 | $10^{-18}$ |

# Ejemplo

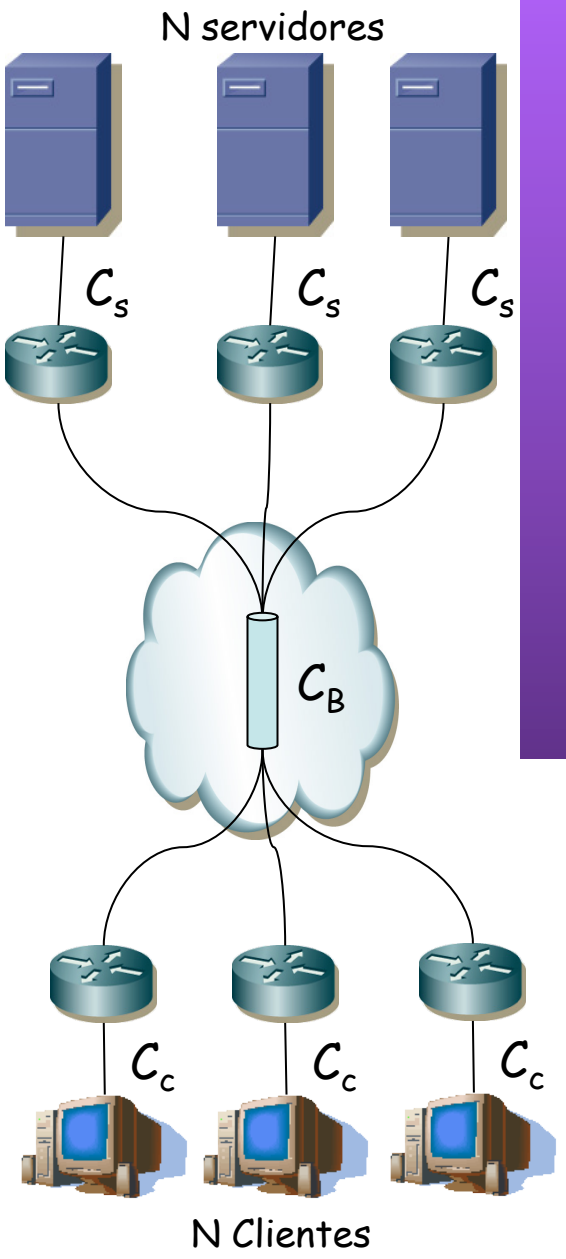
- Cliente, servidor y un conjunto de conmutadores de paquetes intermedios
- Capacidades de los enlaces $C_S$, $C_C$ y $C_i$ i=1...n
- Cliente se descarga un fichero de tamaño F del servidor
- No hay más tráfico
- Máximo throughput: mín$\{C_S,C_C,C_i\}_{i=1..n}$
- Hoy en día los enlaces en el núcleo de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



# Ejemplo 2

- 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

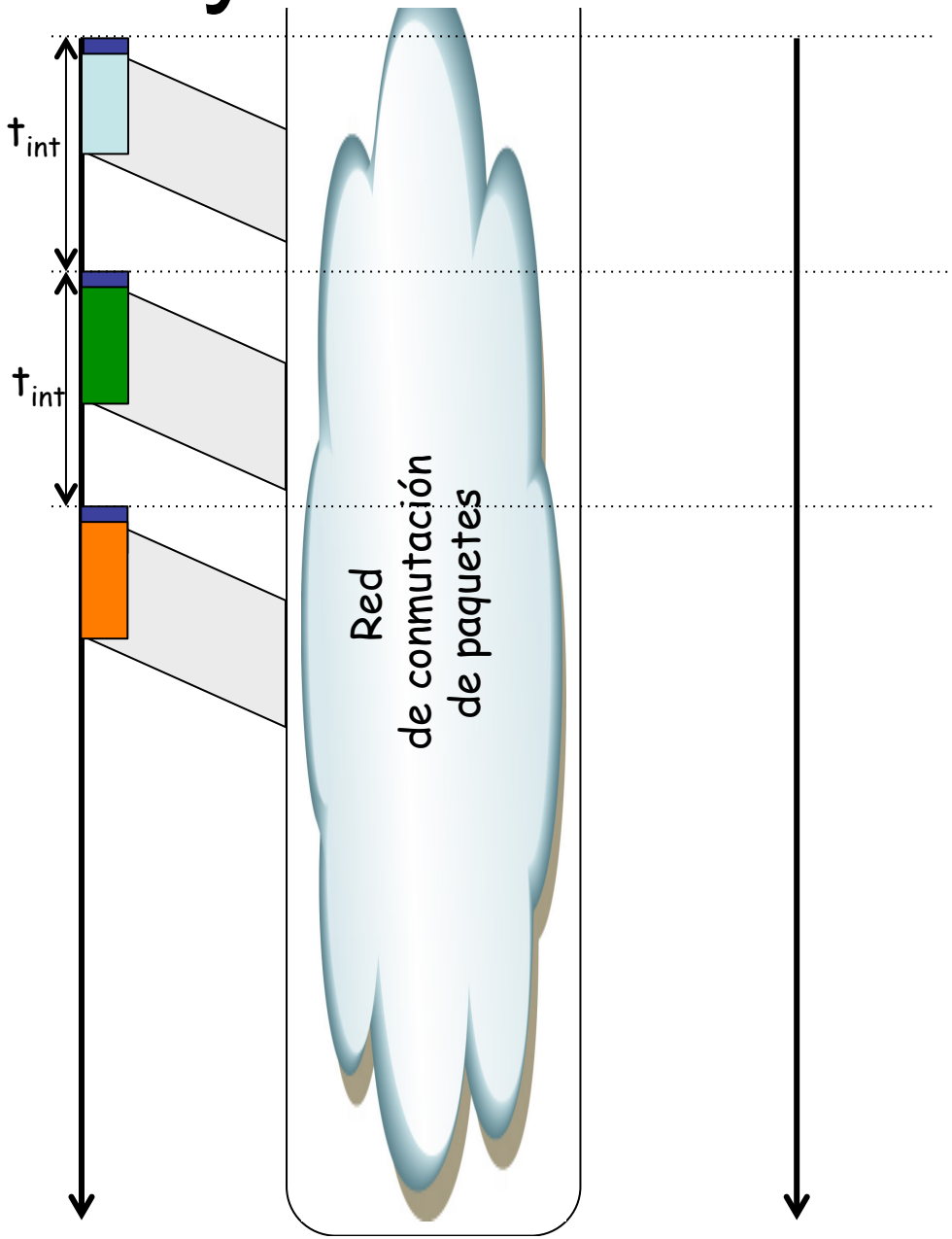


# Packet Delay Variation

- Variación en el retardo (*jitter*)

**Ejemplo 1**

- Paquetes equiespaciados
- (...)

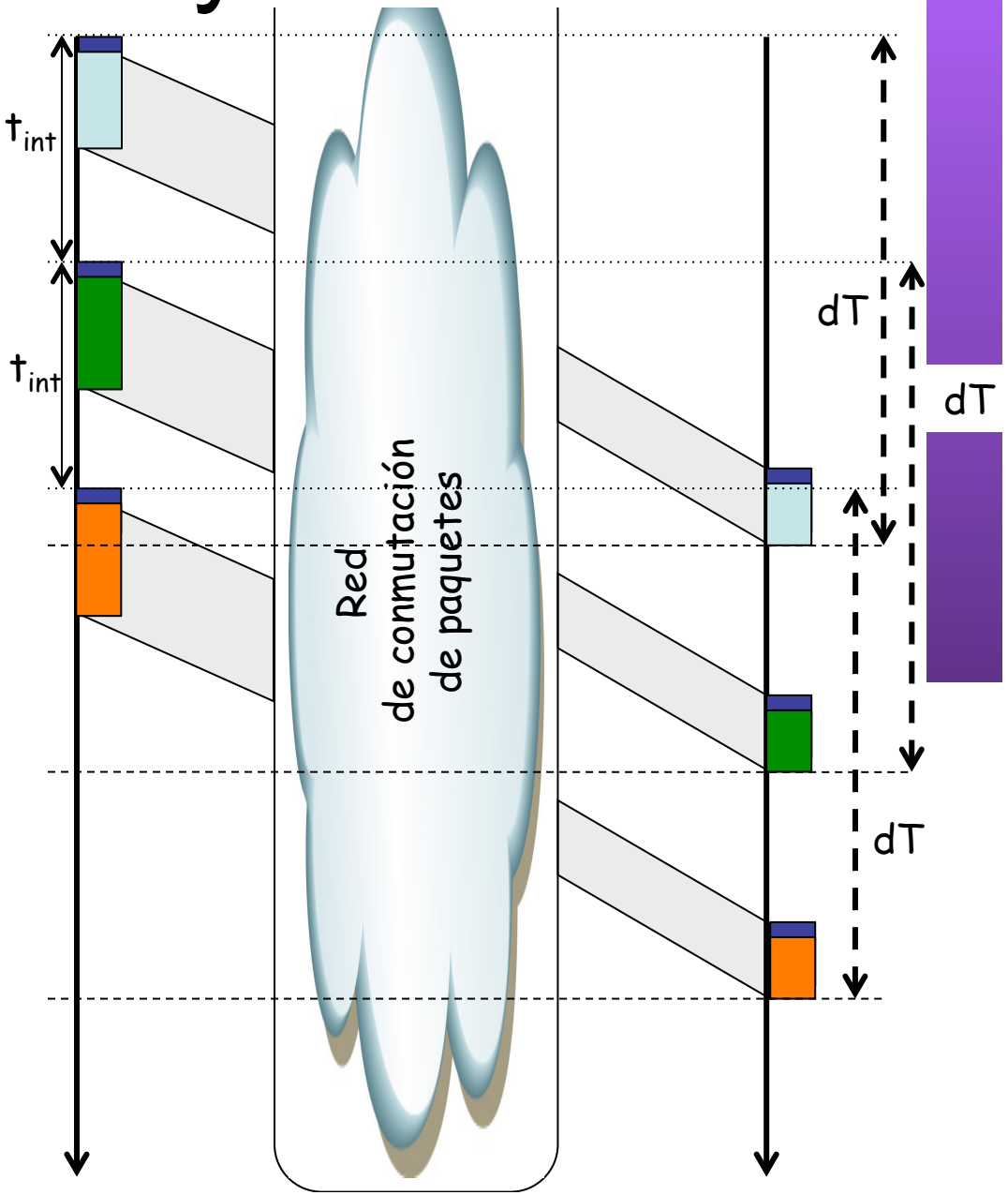


# Packet Delay Variation

- 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
- (...)

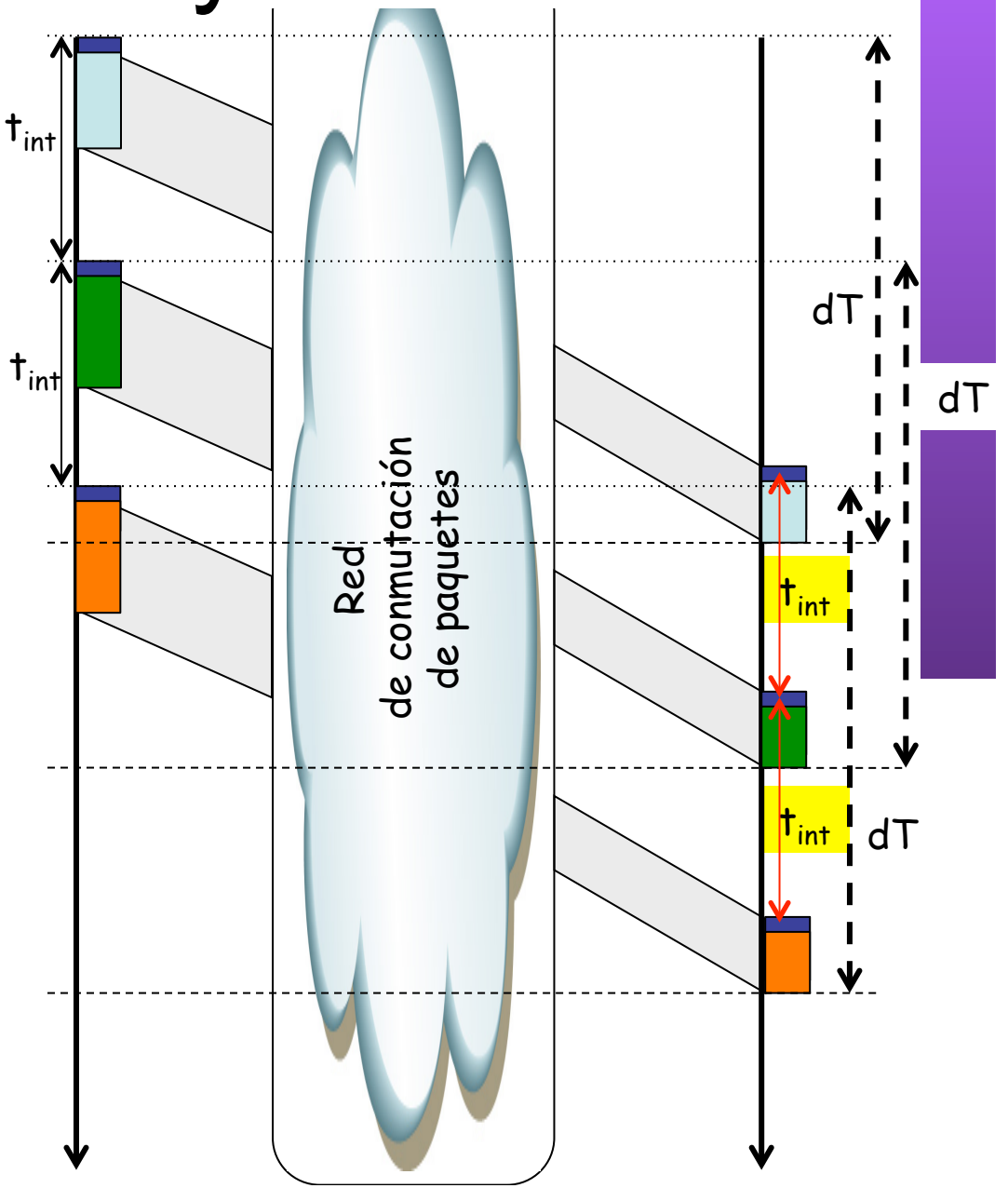


# Packet Delay Variation

- 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

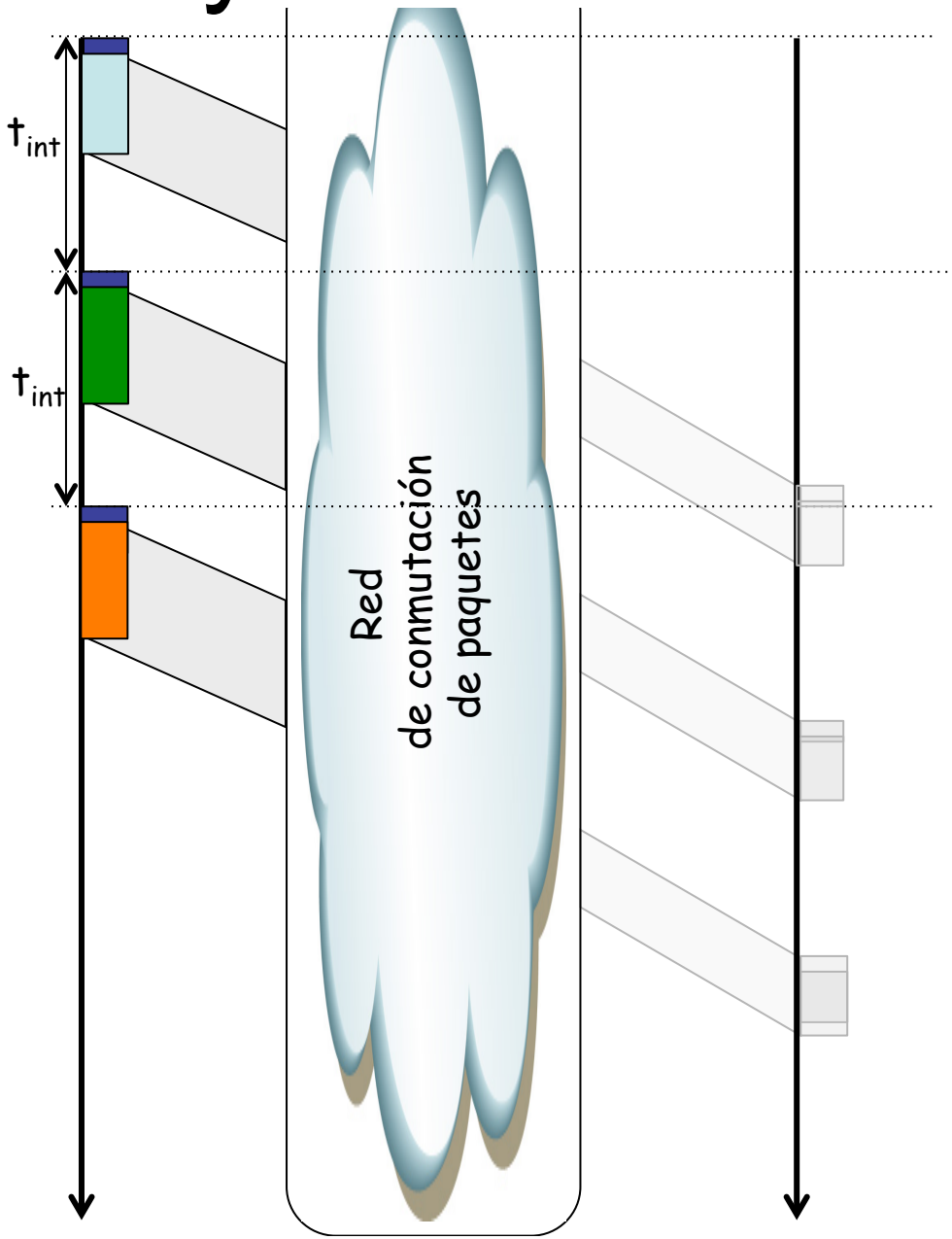


# Packet Delay Variation

- Variación en el retardo (*jitter*)

**Ejemplo 2**

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

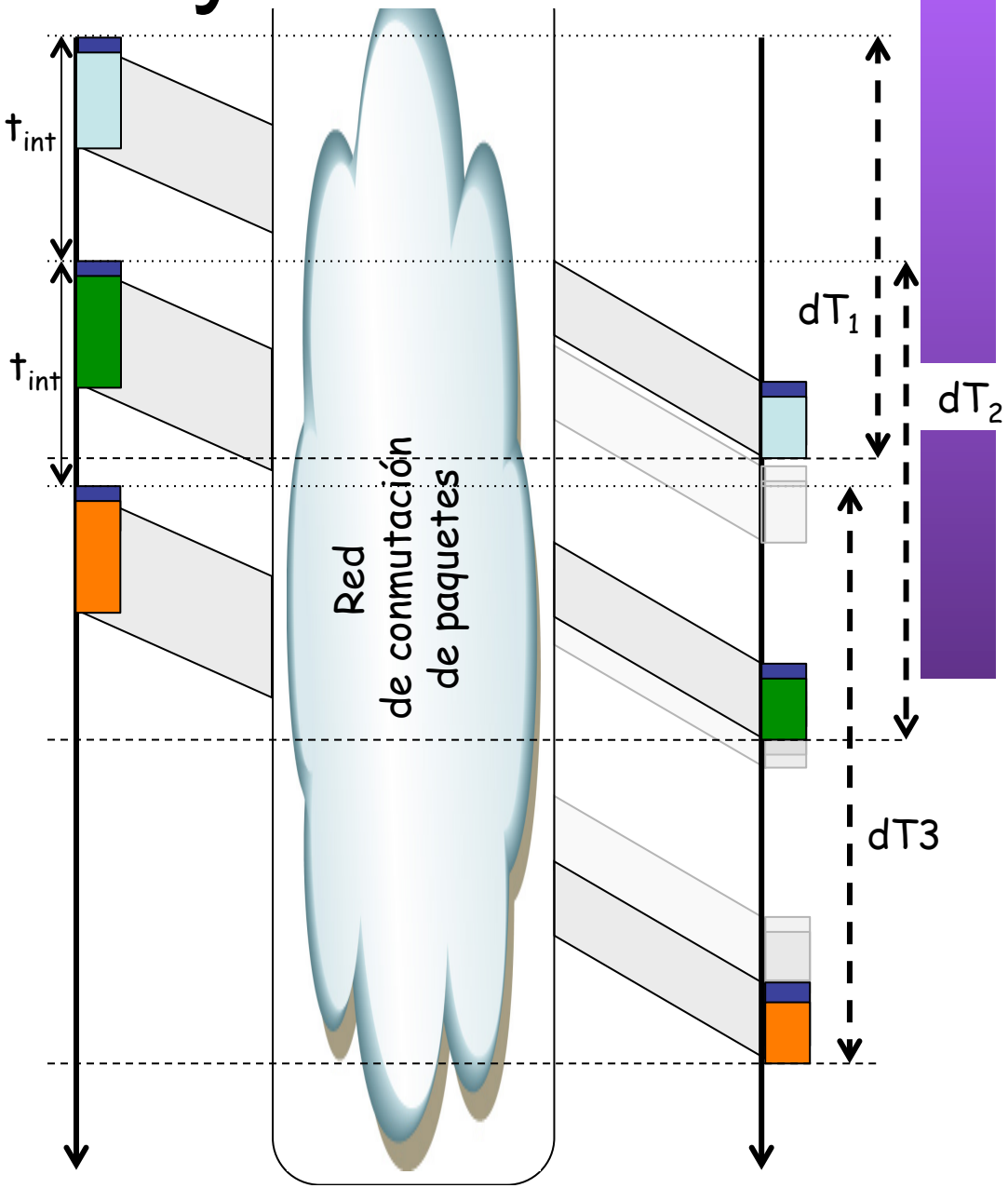


# Packet Delay Variation

- Variación en el retardo (*jitter*)

**Ejemplo 2**

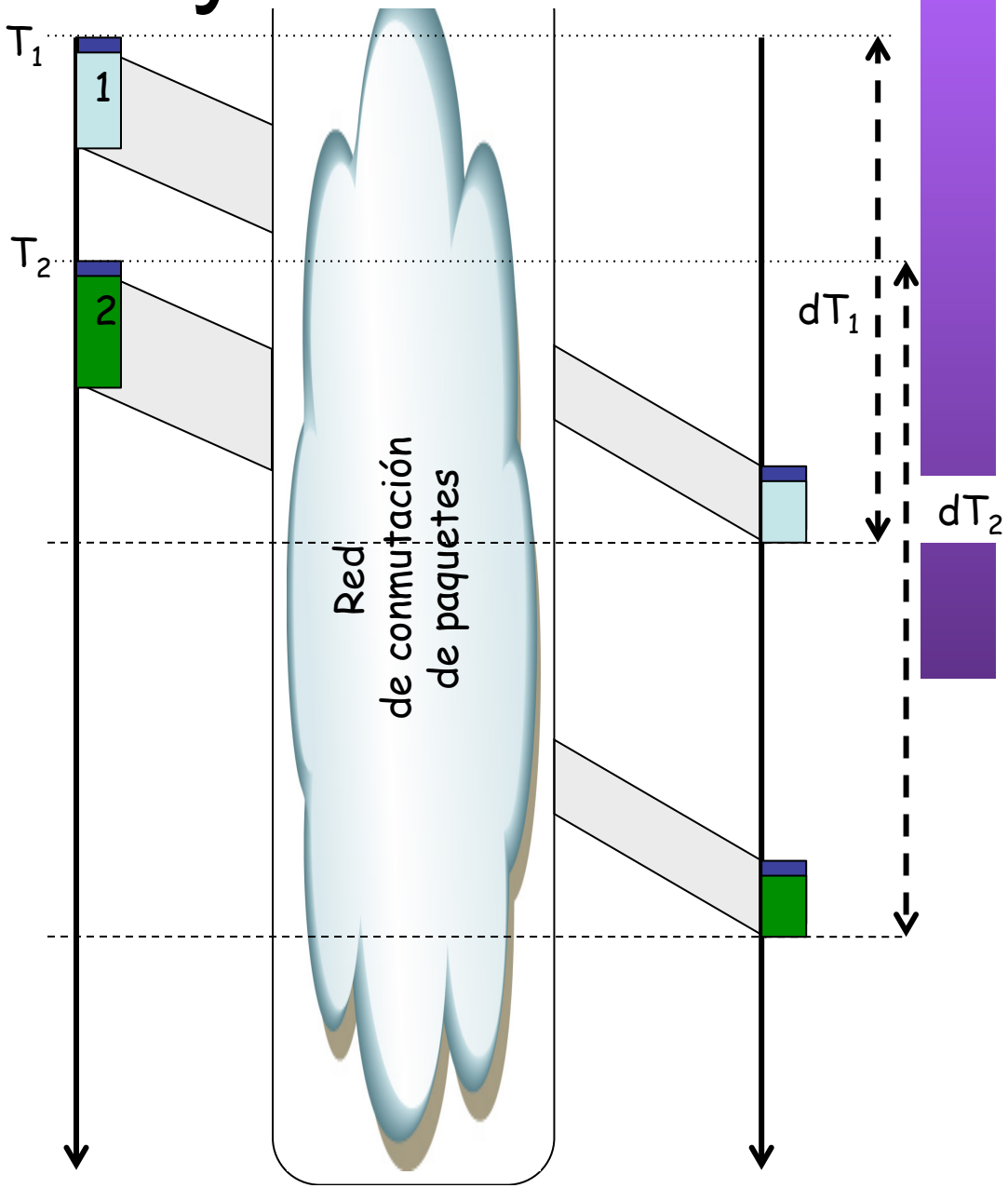
- Paquetes equiespaciados
- (En gris los instantes del ejemplo anterior)
- Sufren diferente retardo ($dT_1$, $dT_2$ y $dT_3$)
- PDV mide la variación en el retardo



# Packet Delay Variation

## Cálculo

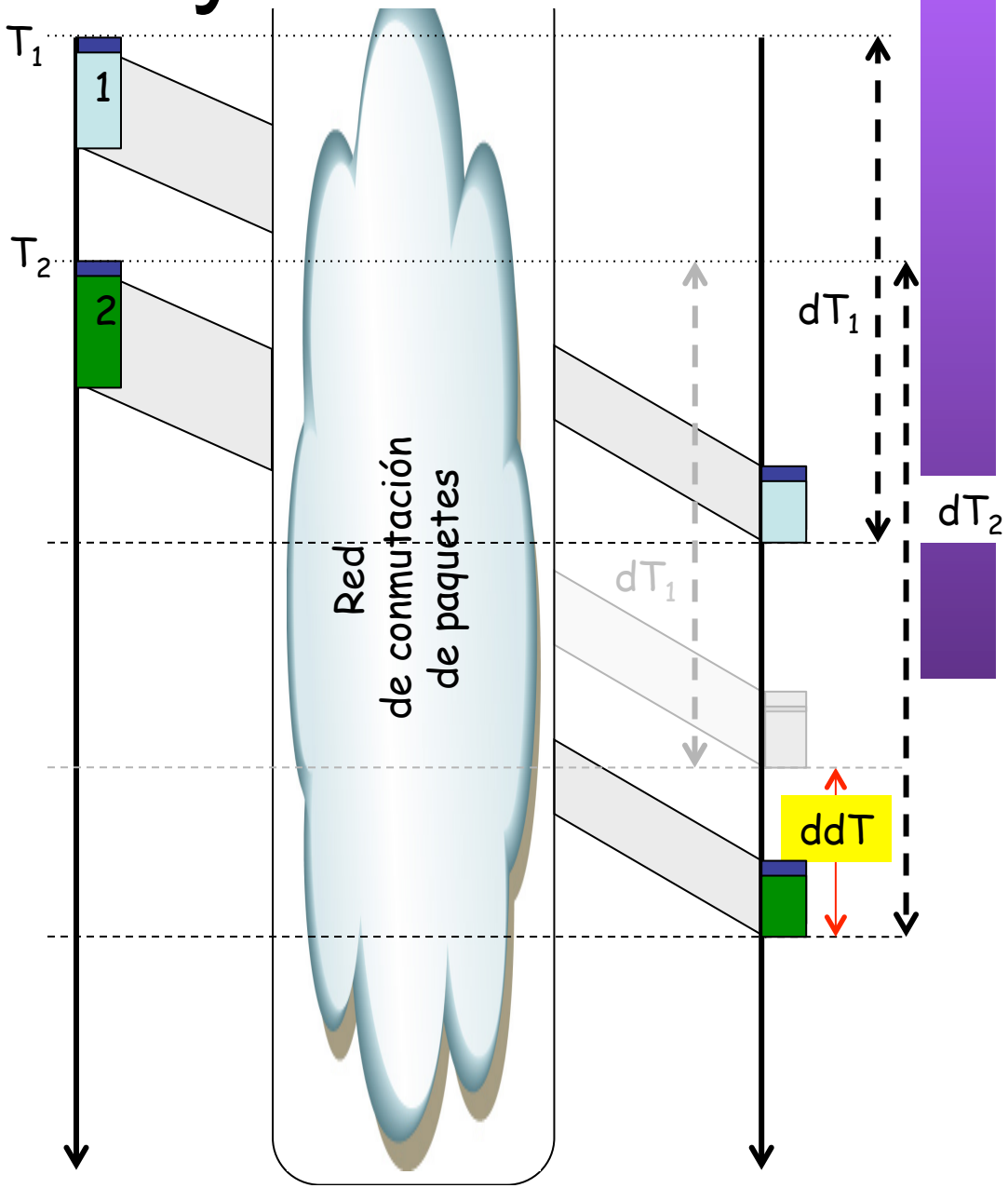
- Dos paquetes (1) y (2)
- Retardos $dT_1$ y $dT_2$
- $ddT = dT_2 - dT_1$
- Mide la diferencia entre cuándo ha llegado el segundo paquete y cuándo "debería" haber llegado
- El "debería" sería en el caso de mismo retardo ambos (...)



# Packet Delay Variation

## Cálculo

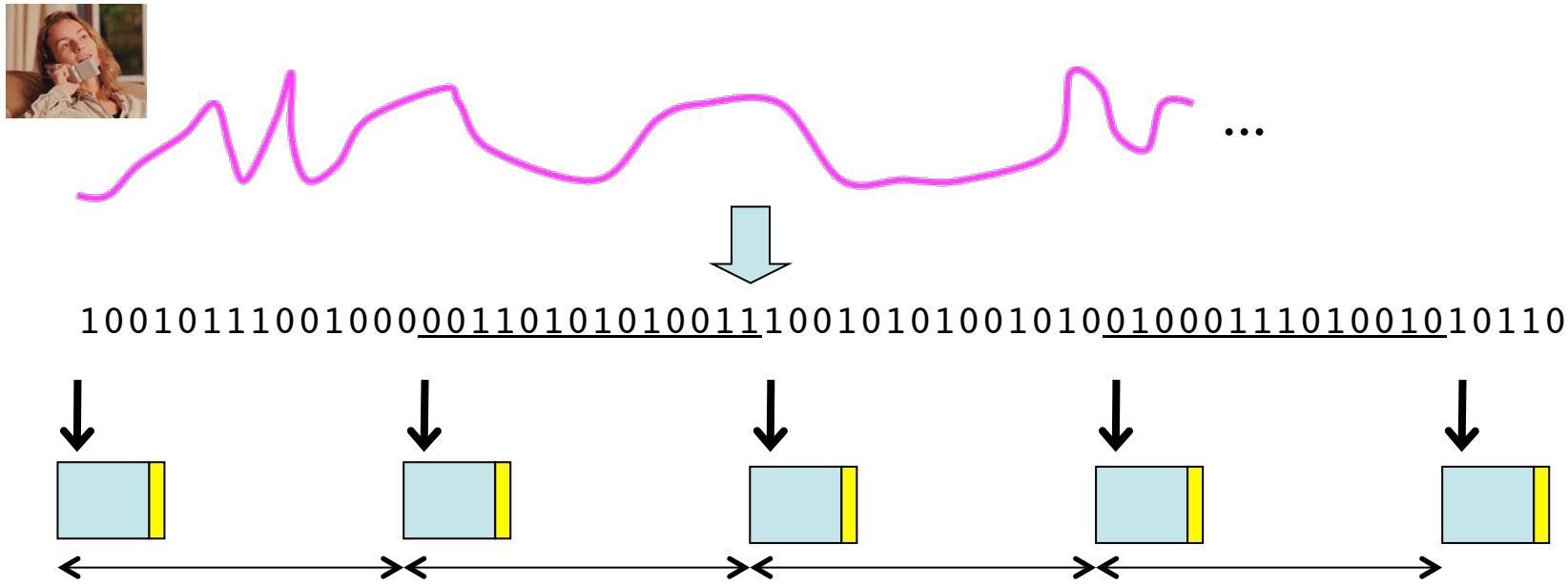
- Dos paquetes (1) y (2)
- Retardos $dT_1$ y $dT_2$
- $ddT = dT_2 - dT_1$
- Mide la diferencia entre cuándo ha llegado el segundo paquete y cuándo "debería" haber llegado
- El "debería" sería en el caso de mismo retardo ambos (paquete en gris)
- Diferencia puede ser positiva o negativa (atrasarse o adelantarse)



# Efectos del PDV

**Ejemplo**

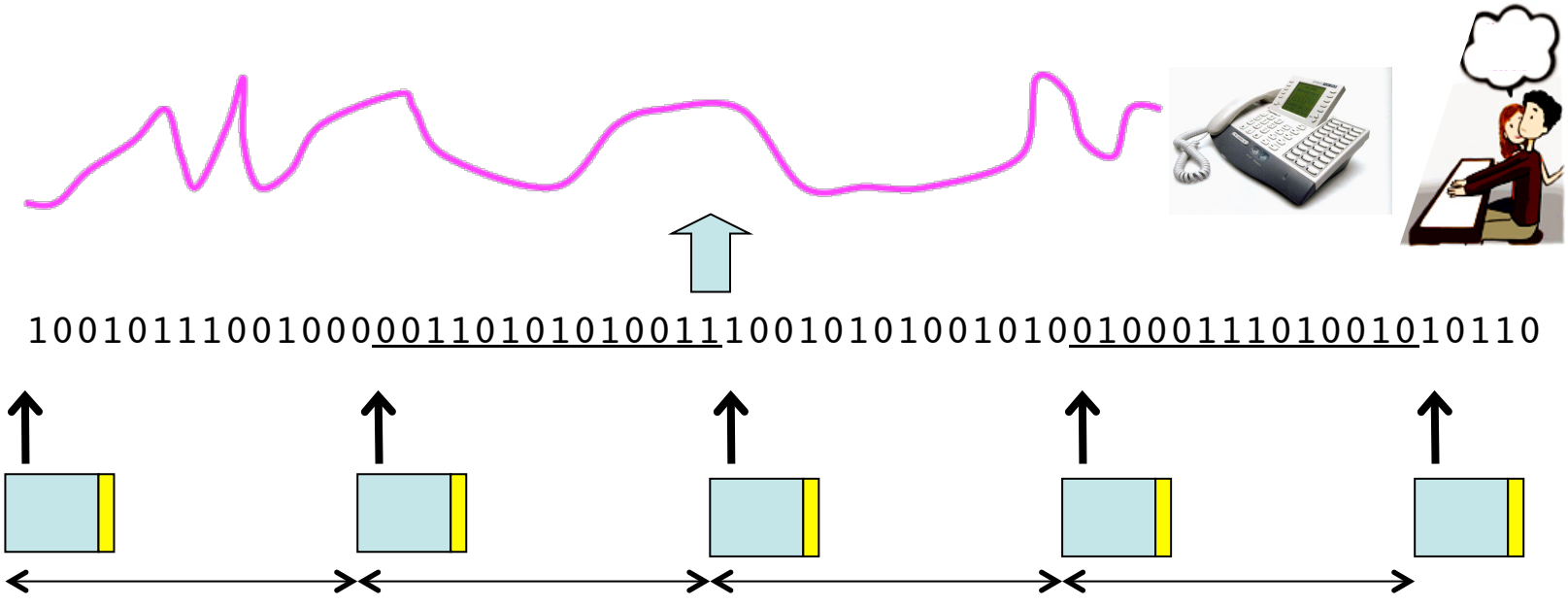
- Codec de voz que genera información digital a tasa constante
- Una vez paquetizada se convierte en paquetes equiespaciados
- (...)



# Efectos del PDV

## Ejemplo

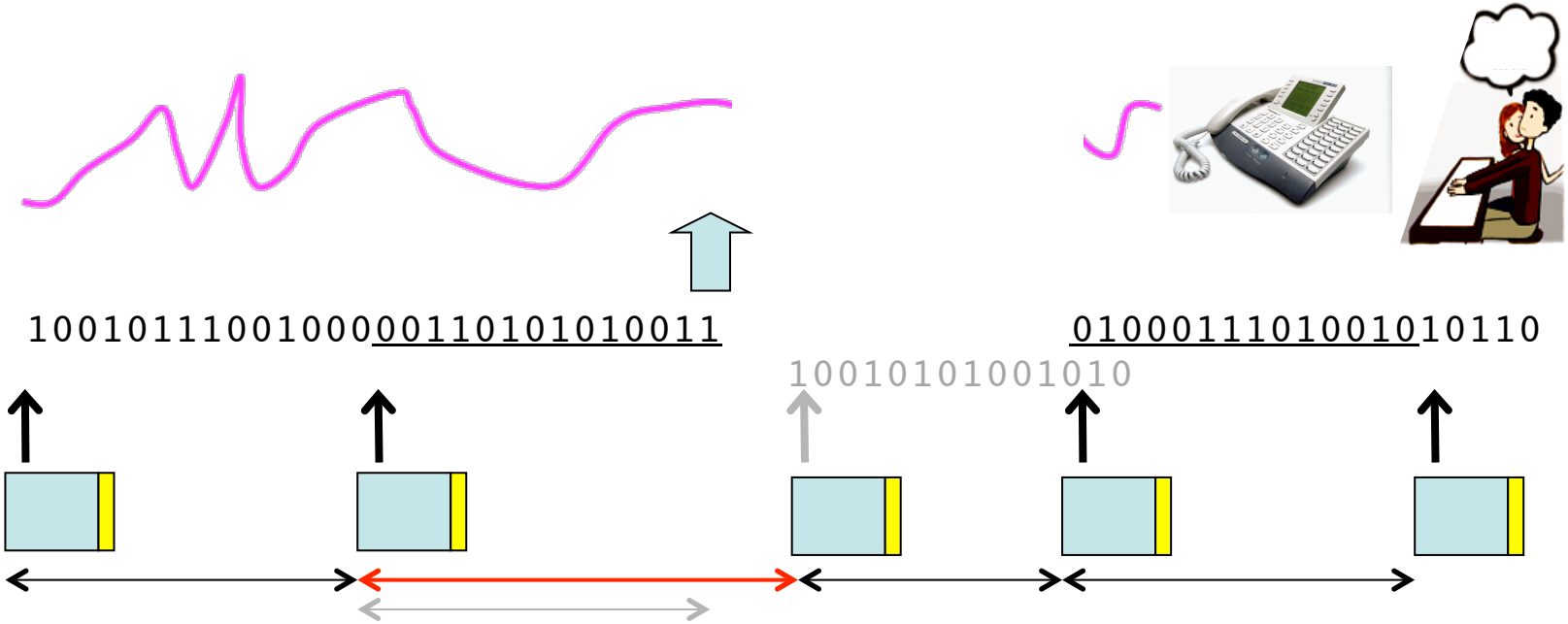
- Codec de voz que genera información digital a tasa constante
- Una vez paquetizada se convierte en paquetes equiespaciados
- En la decodificación se consumen a esa misma tasa
- (...)



# Efectos del PDV

## Ejemplo

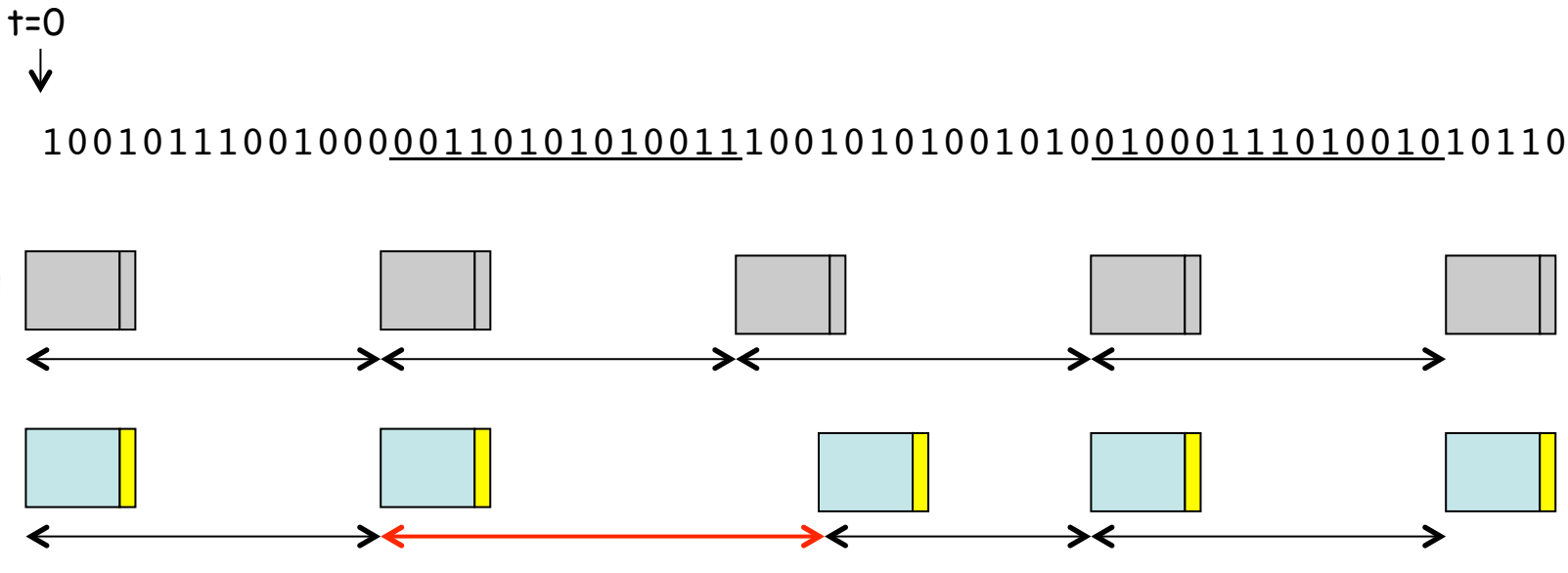
- Codec de voz que genera información digital a tasa constante
- Una vez paquetizada se convierte en paquetes equiespaciados
- En la decodificación se consumen a esa misma tasa
- Un primer paquete sufre un retardo mayor que el anterior y puede que cuando llegue “ya sea tarde”
- Es decir, ya no sirve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



# Efectos del PDV

## Solución

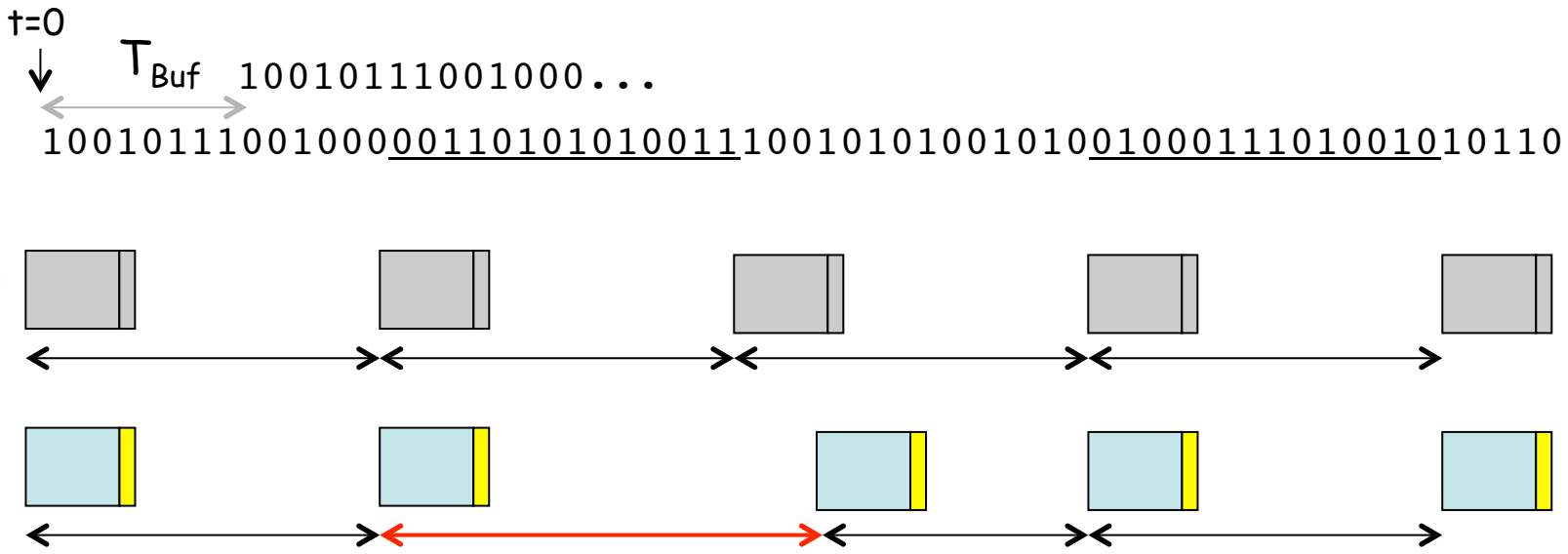
- Retrasar comienzo de la reproducción mediante *buffering* en el cliente
- Supongamos que en t=0 tiene el primer paquete y podría empezar a reproducir
- (...)



# Efectos del PDV

## Solución

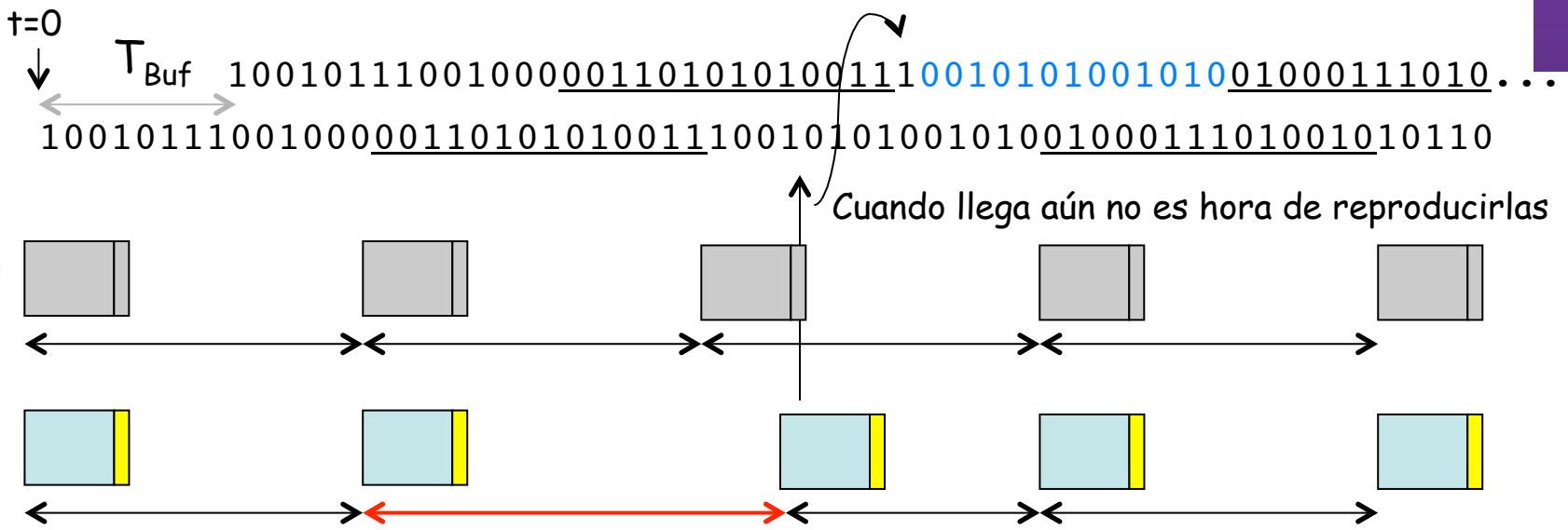
- Retrasar comienzo de la reproducción mediante buffering en el cliente
- Supongamos que en t=0 tiene el primer paquete y podría empezar a reproducir
- Se introduce en memoria durante $T_{Buf}$ (mientras tanto pueden llegar más paquetes, según el tiempo que se desee y lo grande que sea $T_{Buf}$)
- (...)



# 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 $T_{Buf}$

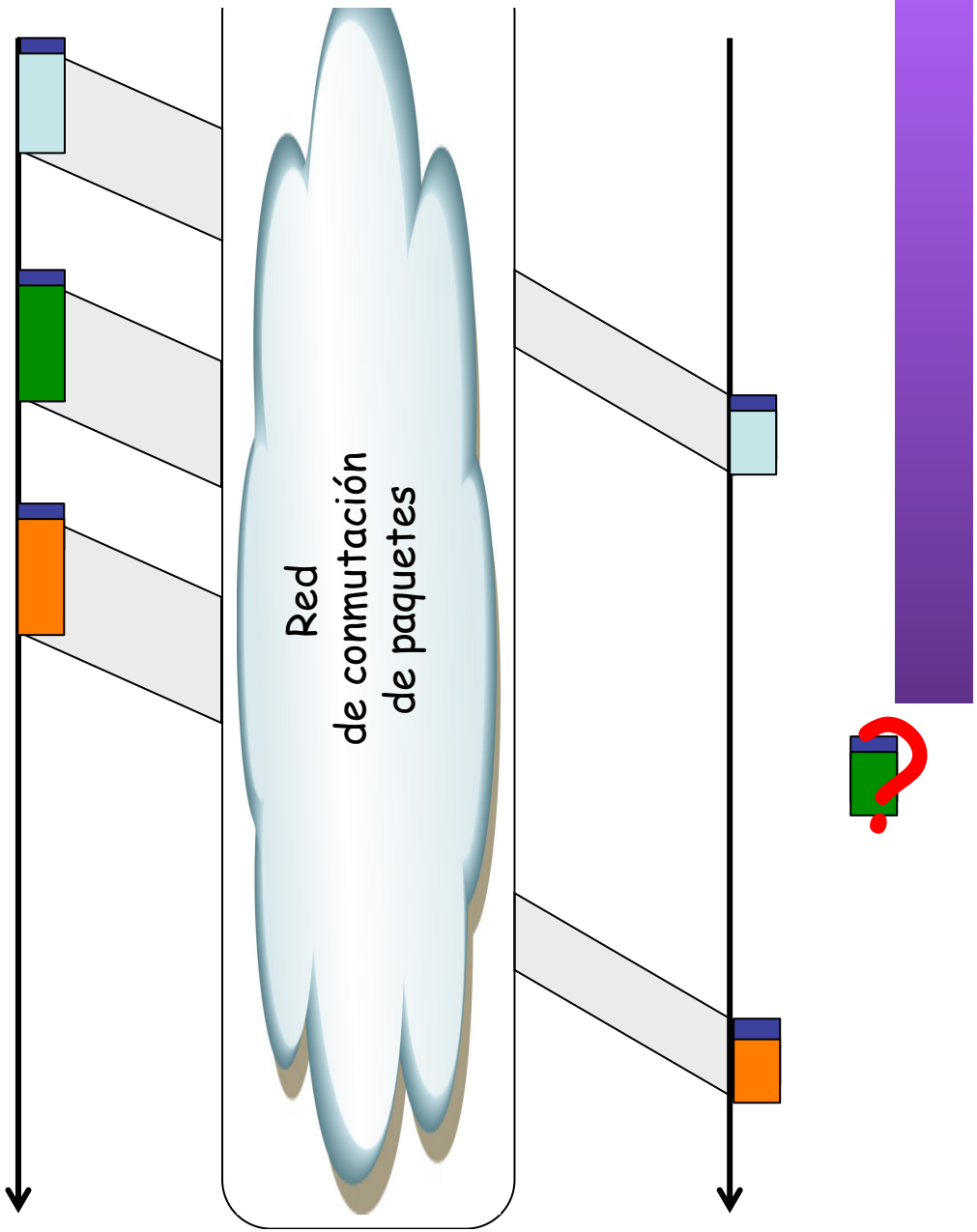


# Pérdidas

- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

**Posibles motivos**

- (...)



# Pérdidas

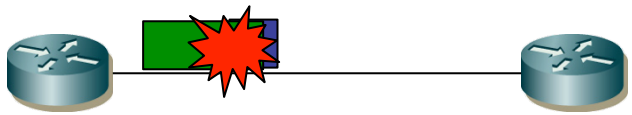
- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

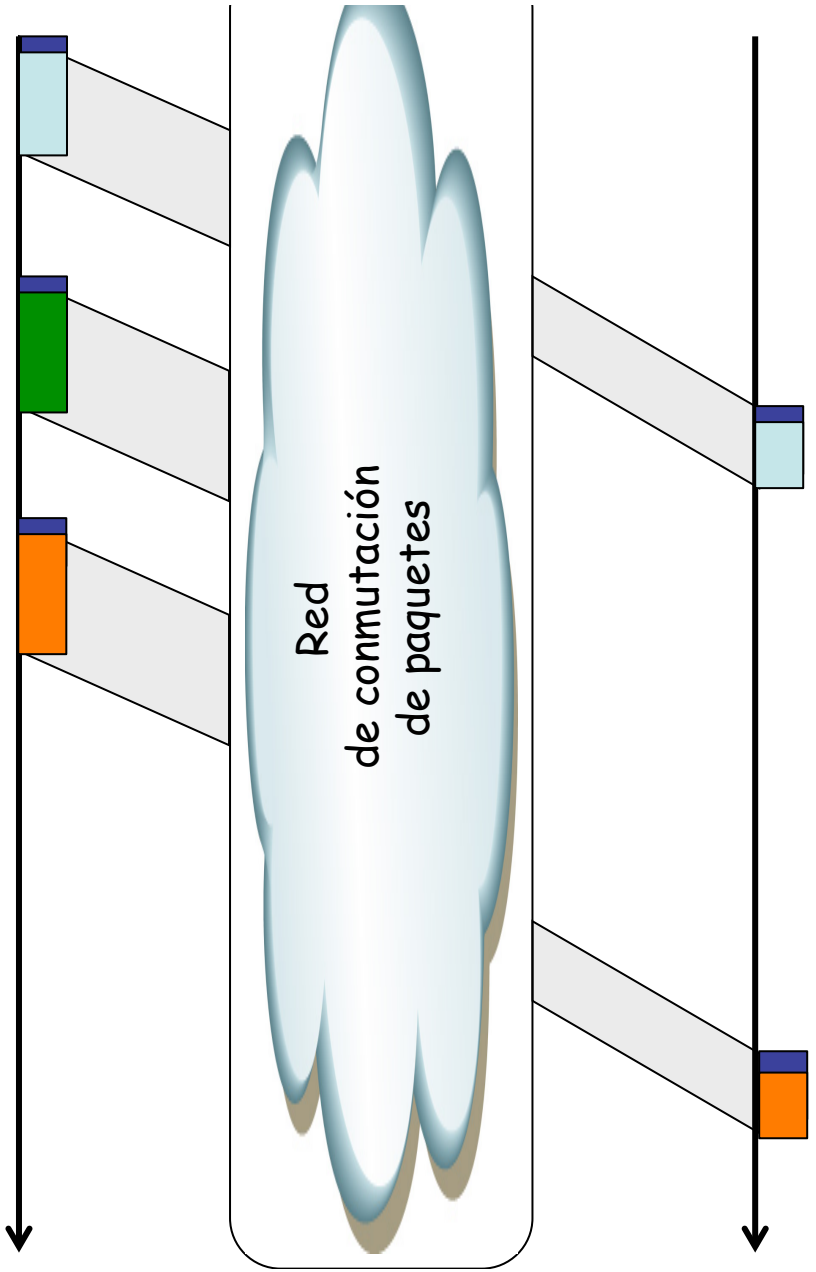
**Posibles motivos**

- 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 ➔ ➔ $p_{epk}\approx 10^{-2}$
- (...)



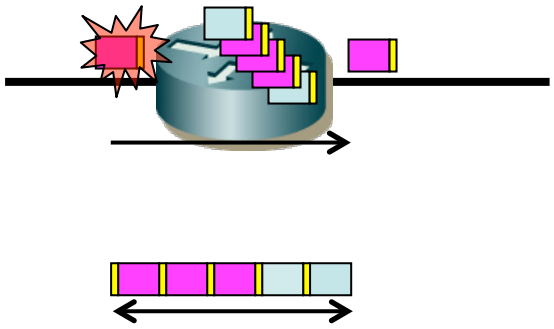


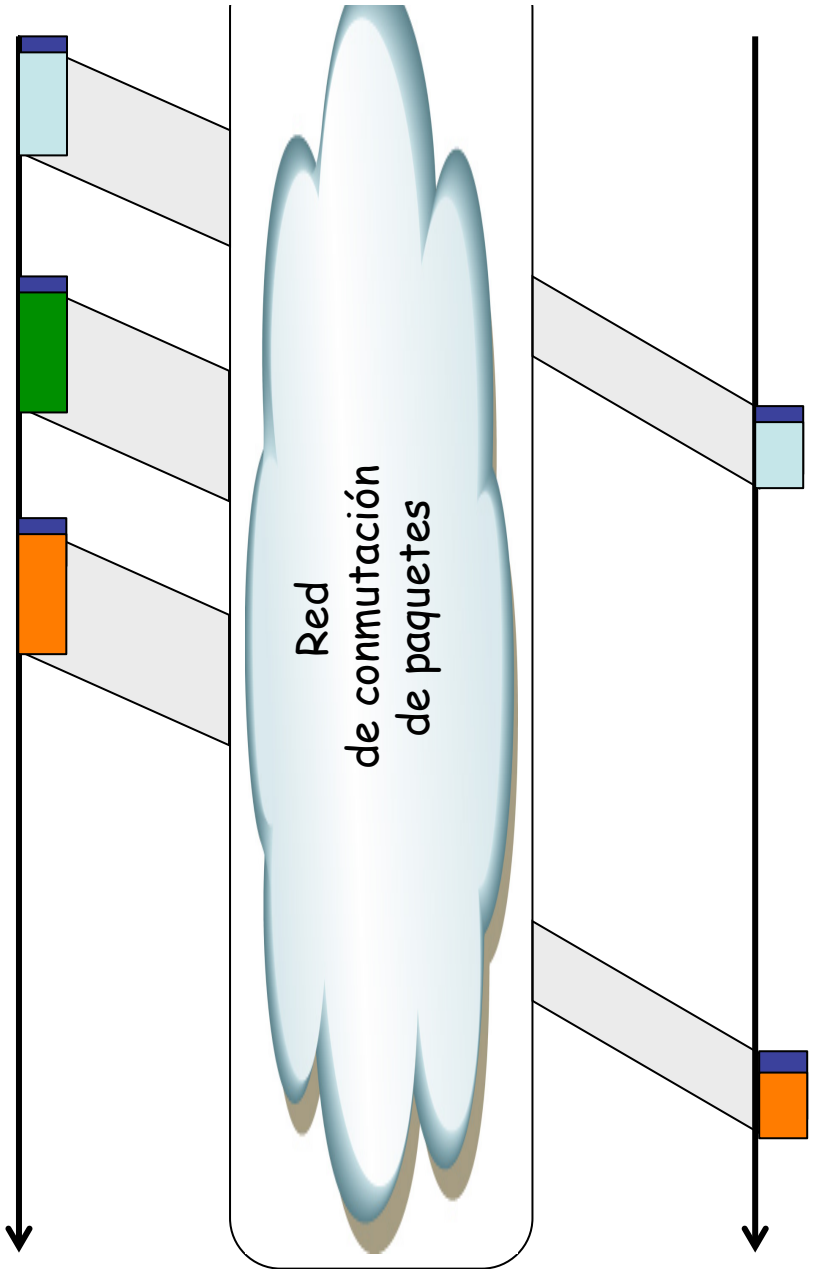
# Pérdidas

- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

**Posibles motivos**

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



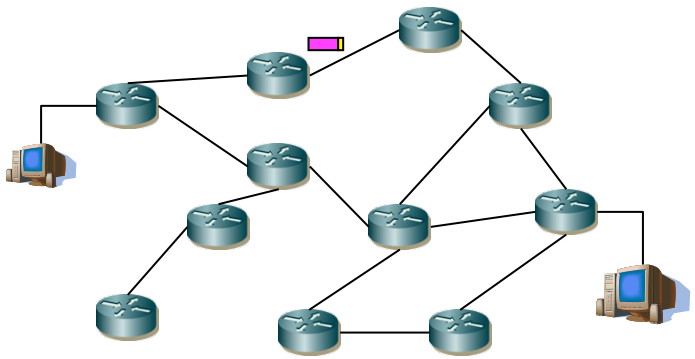



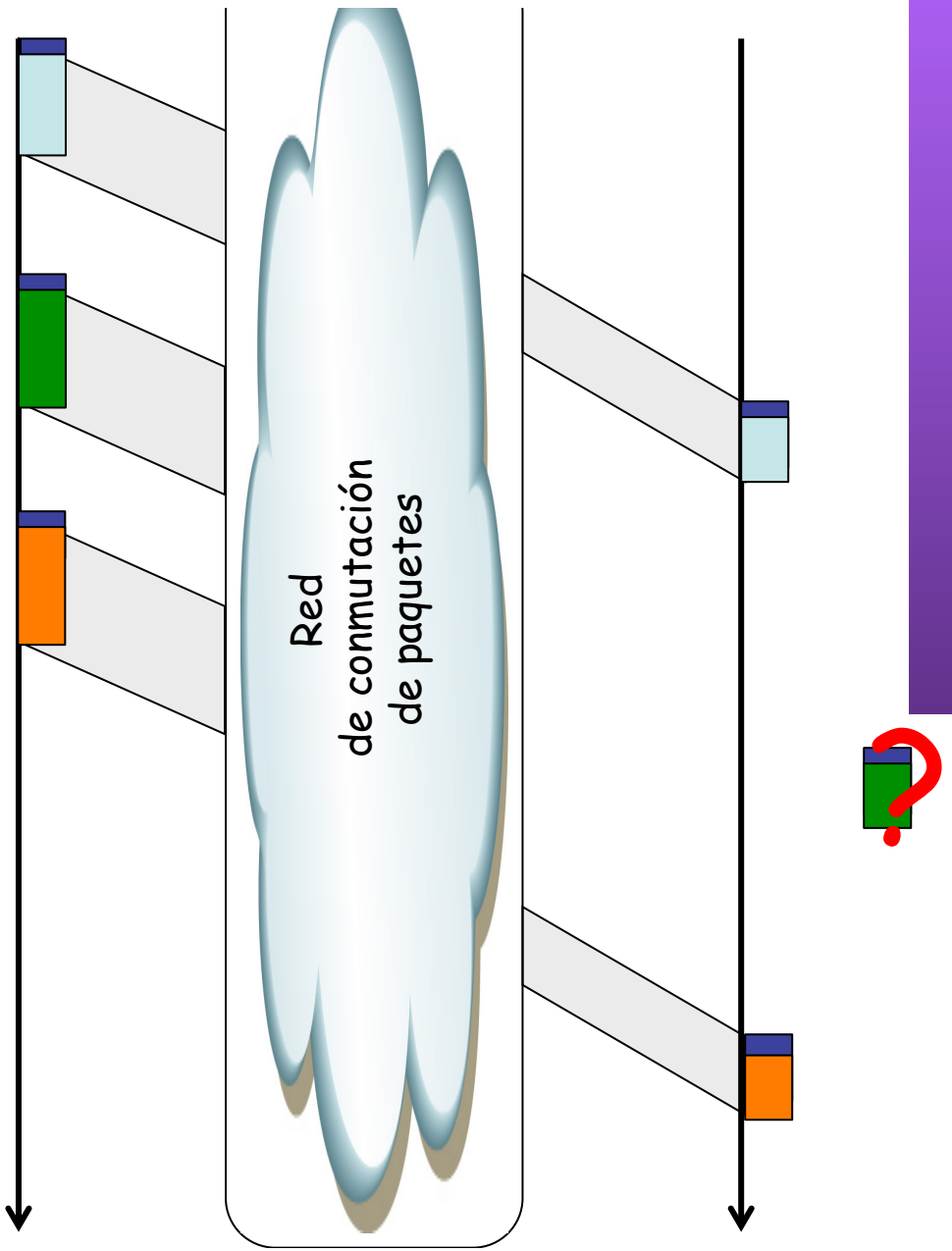
# Pérdidas

- Los paquetes podrían no llegar nunca a su destino

**Posibles motivos**

- Se descartó por exceder el tiempo en la red





# 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

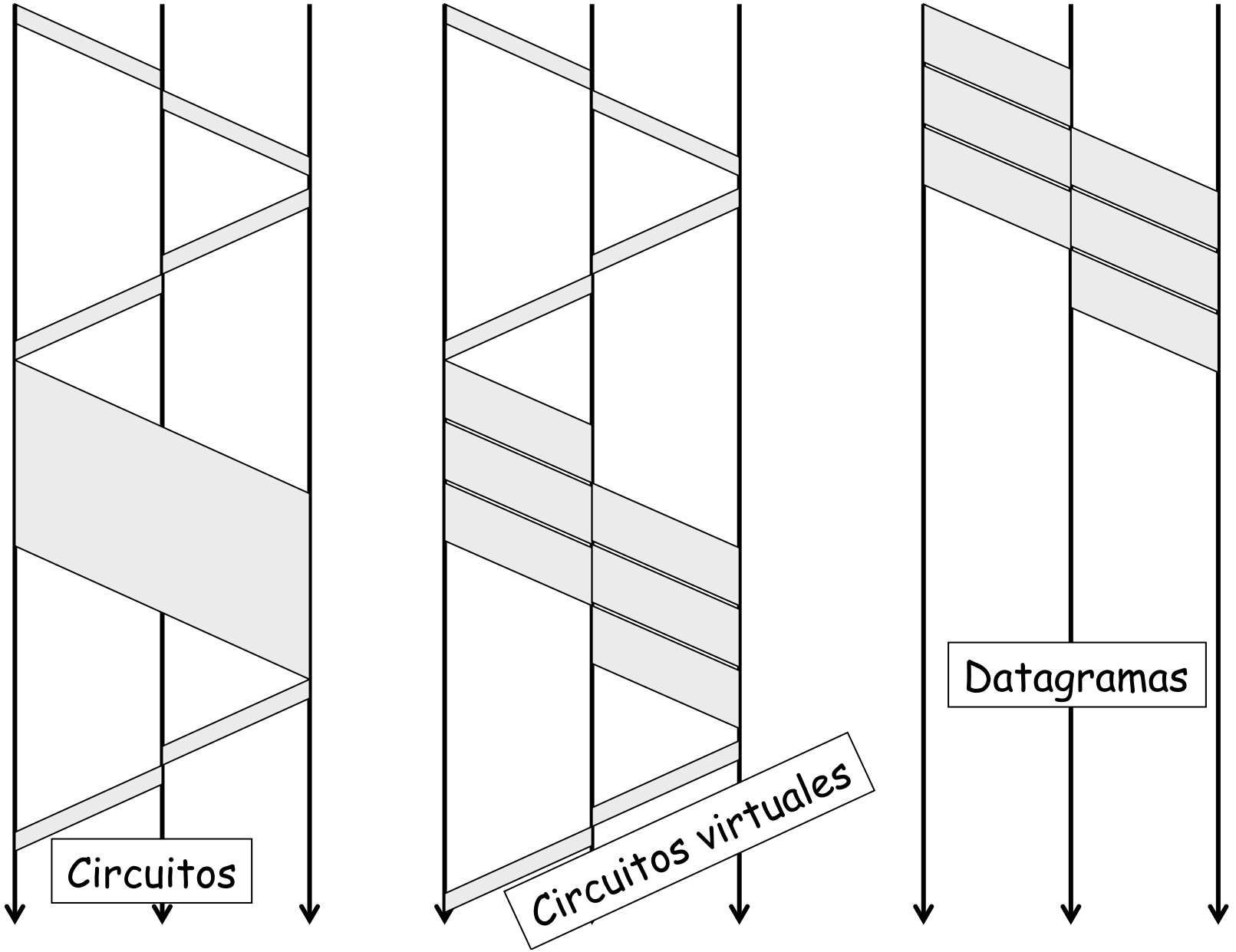
# Problemas de redes de paquetes

- **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?

# Tiempos



# 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.