

# 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

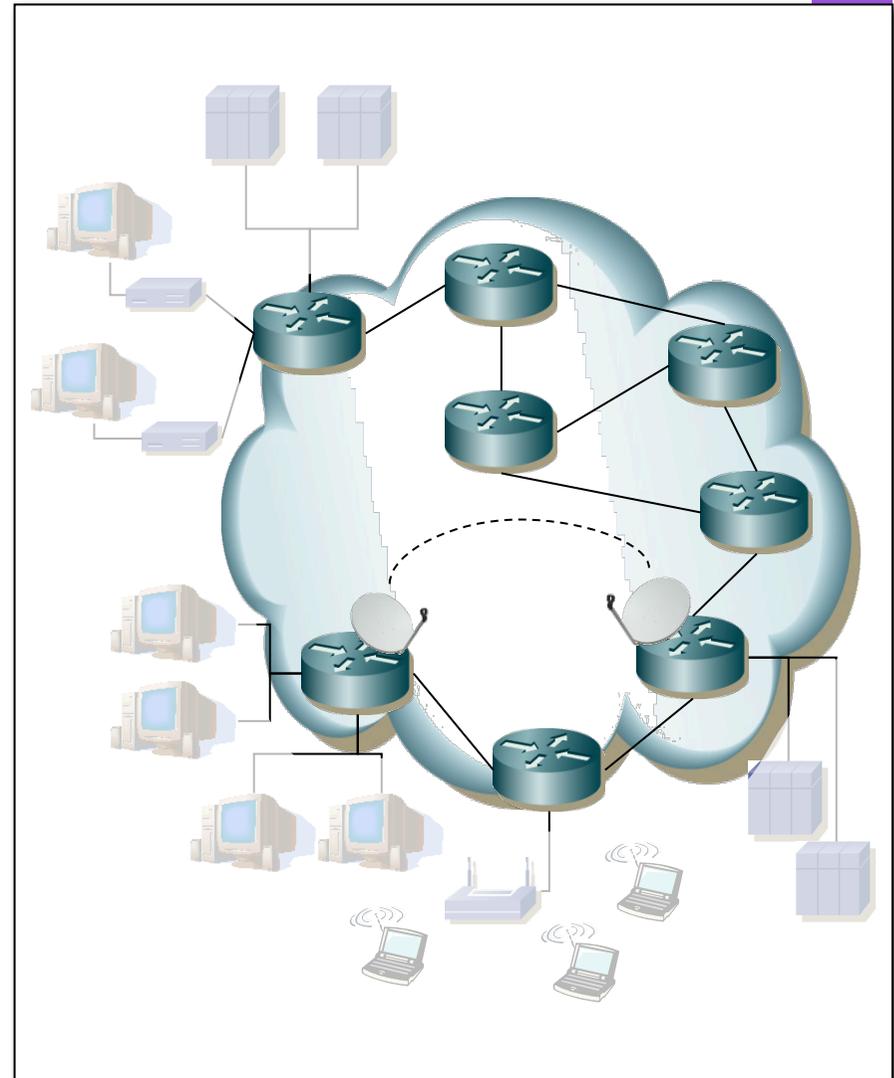
1. Introducción
2. **Arquitecturas de conmutación y protocolos**
  - Elementos, protocolos y arquitecturas de protocolos
  - Arquitecturas OSI y TCP/IP
  - Servicios, interfaces, funcionalidades
  - **Conmutación de circuitos y de paquetes**
  - **Retardos de transmisión, propagación, procesado, cola**
  - 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

- Comprender el funcionamiento de los paradigmas de conmutación de **circuitos** y de **paquetes**
- Diferenciar y saber trabajar con **retardos** de transmisión y de propagación

# Núcleo de la red

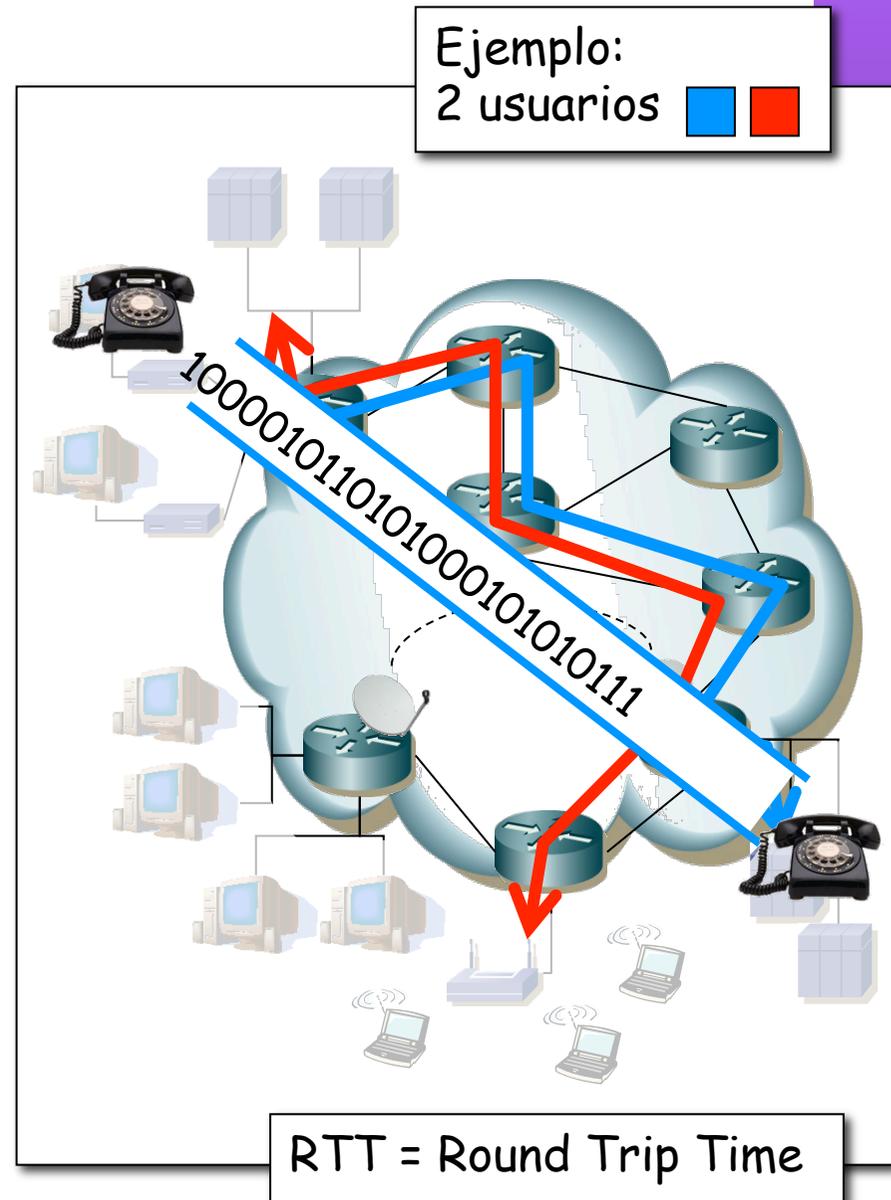
- Interconexión de conmutadores
- ¿Qué es *conmutar*?
  - Reenviar la información
  - De un nodo de conmutación a otro
  - De un nodo de conmutación al *end host*
- ¿Cómo se transfieren los datos por la red?
  - **Conmutación de circuitos**
  - **Conmutación de paquetes**



# Núcleo de la red

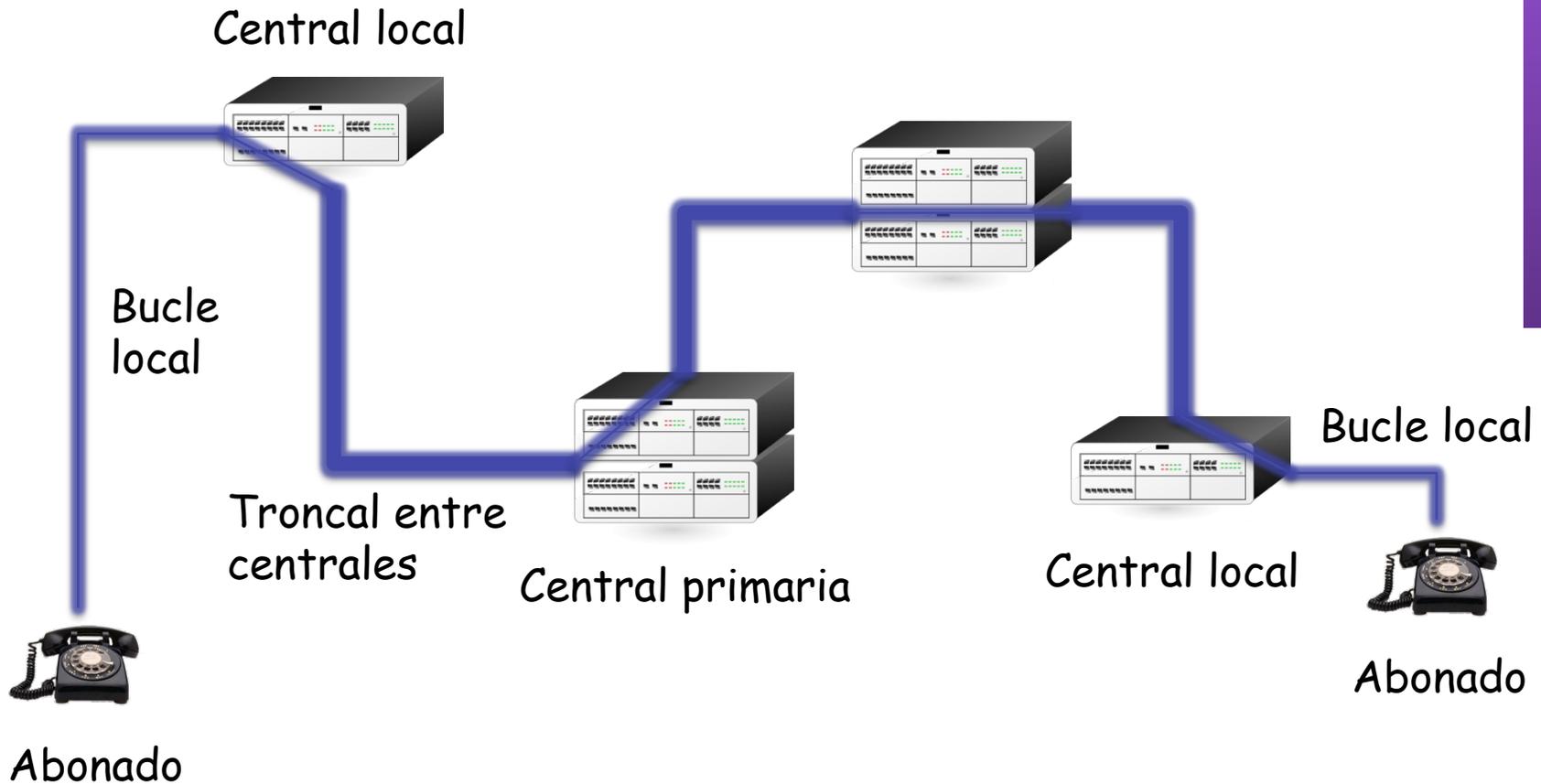
## Conmutación de circuitos

- Tres fases: Establecimiento, Transferencia y Desconexión
- RTT en el establecimiento (...)
- Comunicación transparente (...)
- Reserva de recursos:
  - Recursos “extremo-a-extremo”
  - Ancho de banda, capacidad en los conmutadores
  - Recursos (camino) dedicados: no se comparten aunque no se usen
  - Garantías de calidad
- Ineficiente
  - Capacidad del canal dedicada durante la vida del “circuito”
  - Si no se envían datos la capacidad se desperdicia



# Conmutación de circuitos

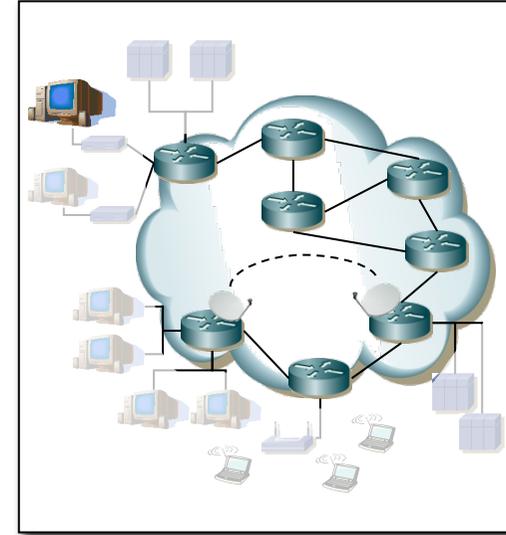
- Caso típico: red telefónica conmutada (...)
- Enlaces troncales permiten cursar múltiples llamadas simultáneamente



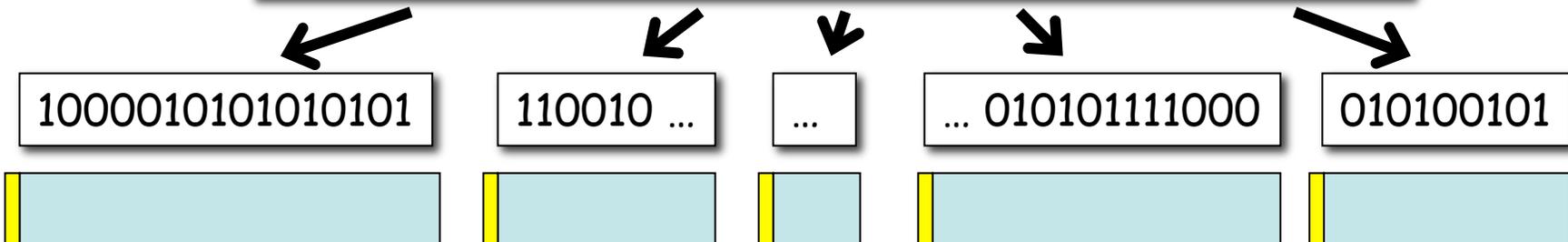
# Núcleo de la red

## Conmutación de paquetes

- La información se divide en bloques (...)
- Datos + información de control (...)
- Cada paquete contiene información para llegar al destino
- No se suelen reservar recursos (hay arquitecturas en que sí se puede)



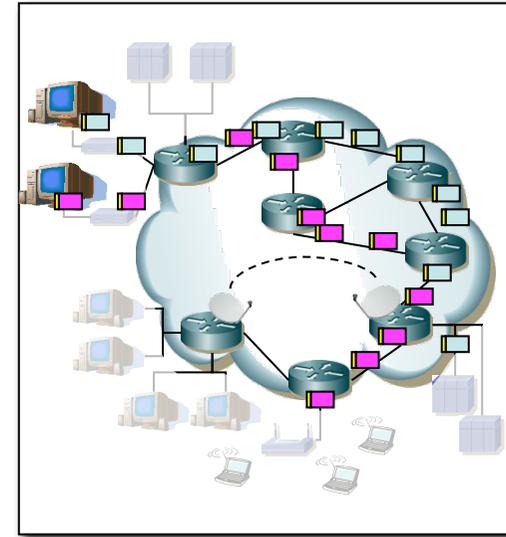
1000010101010101110010 ... .. 010101111000010100101



# Núcleo de la red

## Conmutación de paquetes

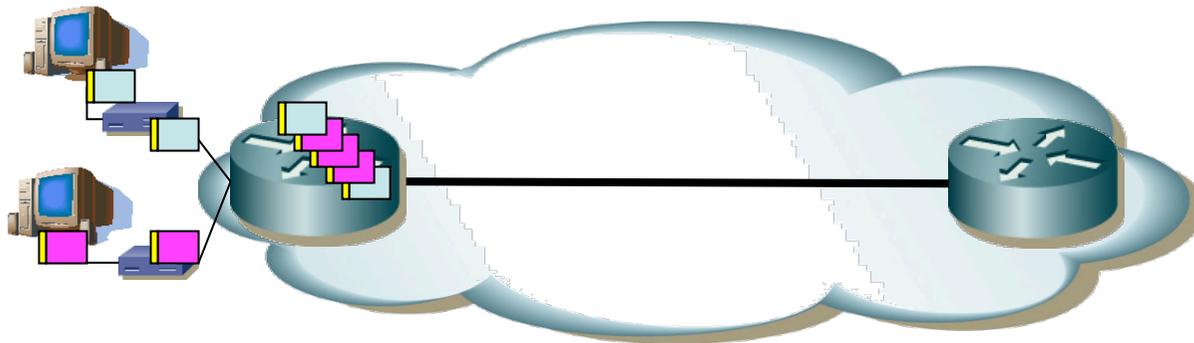
- Enlaces compartidos por paquetes de diferentes comunicaciones
- Conversión de velocidad
- *Store-and-forward*
- Cada paquete usa toda la capacidad del enlace...



# Núcleo de la red

## ***Conmutación de paquetes***

- ...pero puede tener que esperar a que otros se envíen antes
- Multiplexación estadística
  - Mejor aprovechamiento de recursos
  - Dimensionamiento más complicado



# Ejemplo

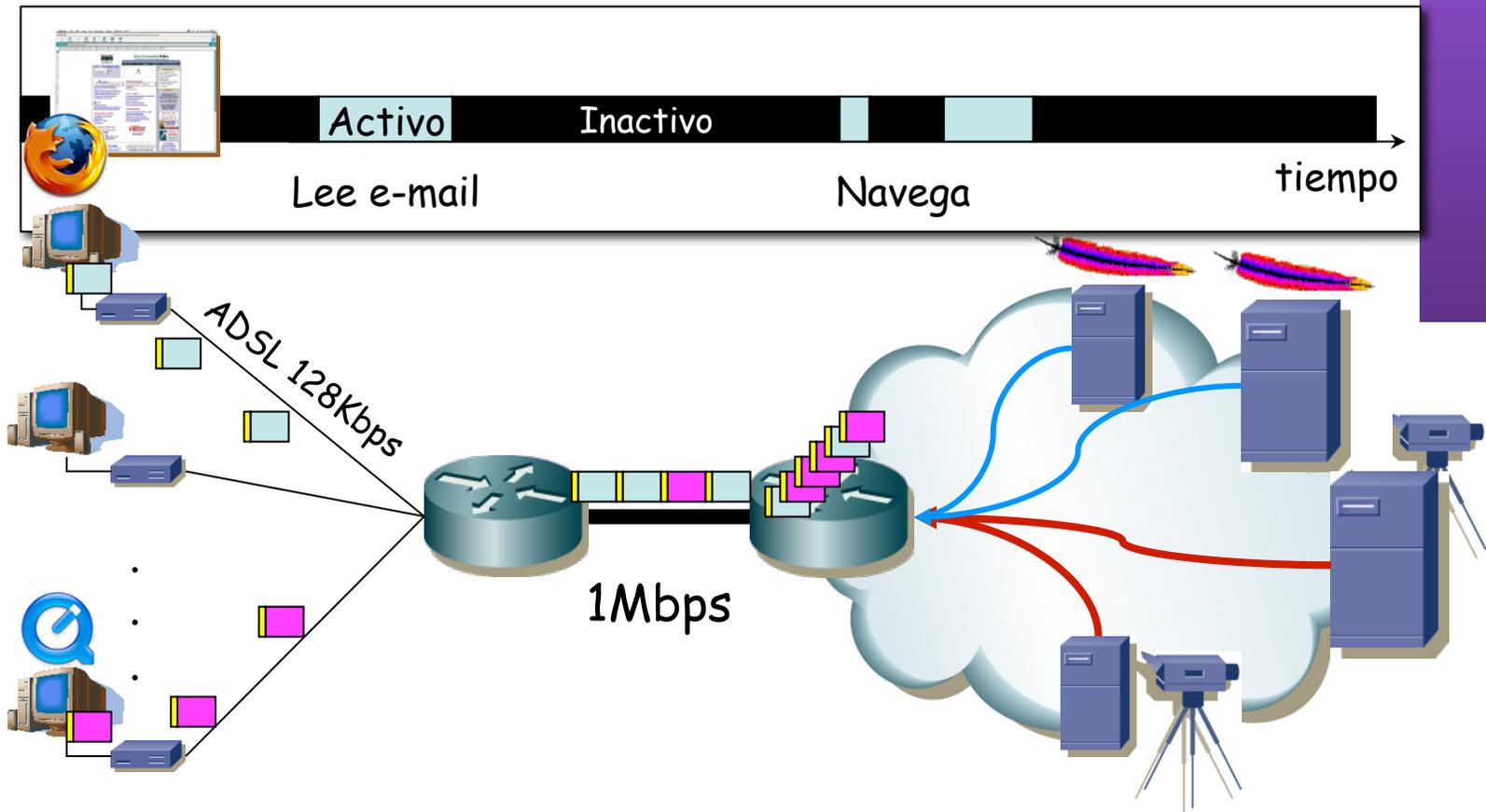
## Cada usuario:

- Recibe de un servidor a 100Kbps cuando está activo
- Activo cada uno un 10% del tiempo

10 usuarios a 100Kbps=1Mbps  
(conmutación de circuitos)

¿ Cuál es la probabilidad de que  
más de 10 usuarios reciban  
tráfico a la vez ?

35 usuarios ADSL



# Ejemplo

¿ Cuál es la probabilidad de que más de 10 usuarios reciban tráfico a la vez ?

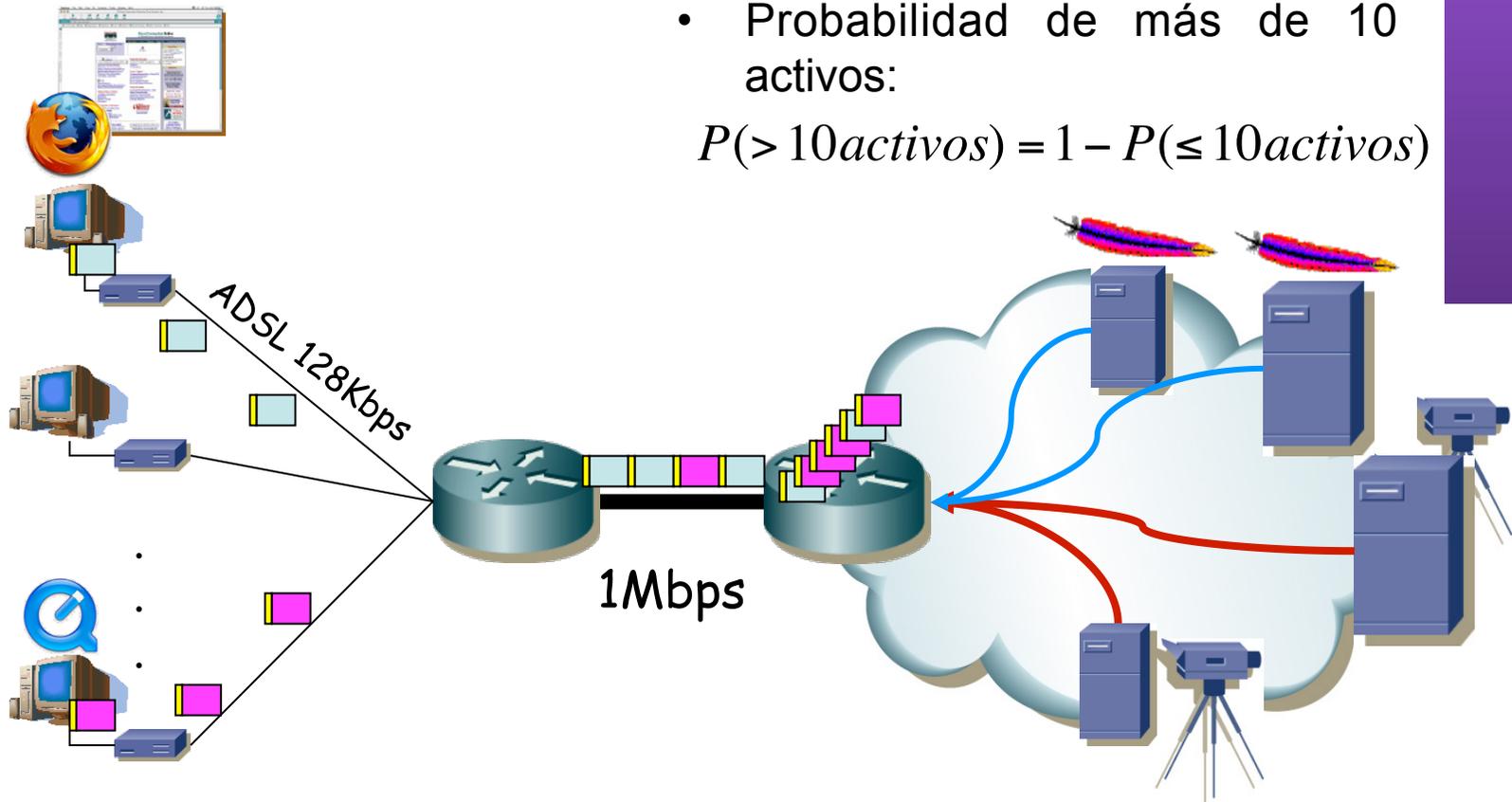
- Usuario activo un 10% del tiempo (es interpretable)
- Supongamos que en un momento cualquiera:

$$P(\text{usuario\_activo}) = 0.1 = p$$

- Probabilidad de más de 10 activos:

$$P(> 10 \text{ activos}) = 1 - P(\leq 10 \text{ activos})$$

35 usuarios ADSL



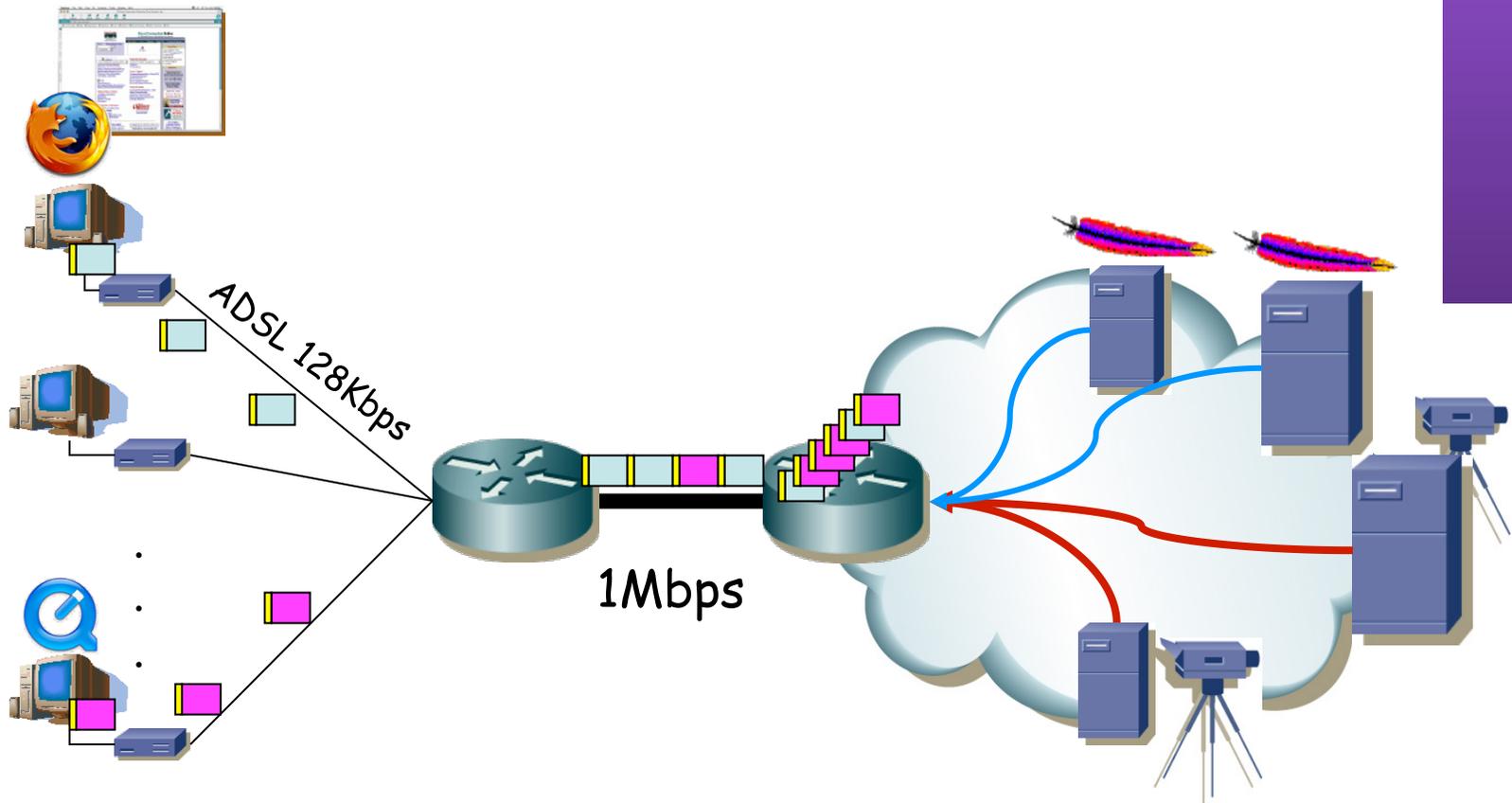
# Ejemplo

¿Cuál es la probabilidad de que más de 10 usuarios reciban tráfico a la vez ?

$$P(> 10 \text{ activos}) = 1 - P(\leq 10 \text{ activos})$$

$$P(\leq 10 \text{ activos}) = P(0 \text{ _activos}) + P(1 \text{ _activo}) + \dots + P(10 \text{ _activos}) = \sum_{i=0}^{10} P(i \text{ _activos})$$

35 usuarios ADSL



# Ejemplo

¿ Cuál es la probabilidad de que más de 10 usuarios reciban tráfico a la vez ?

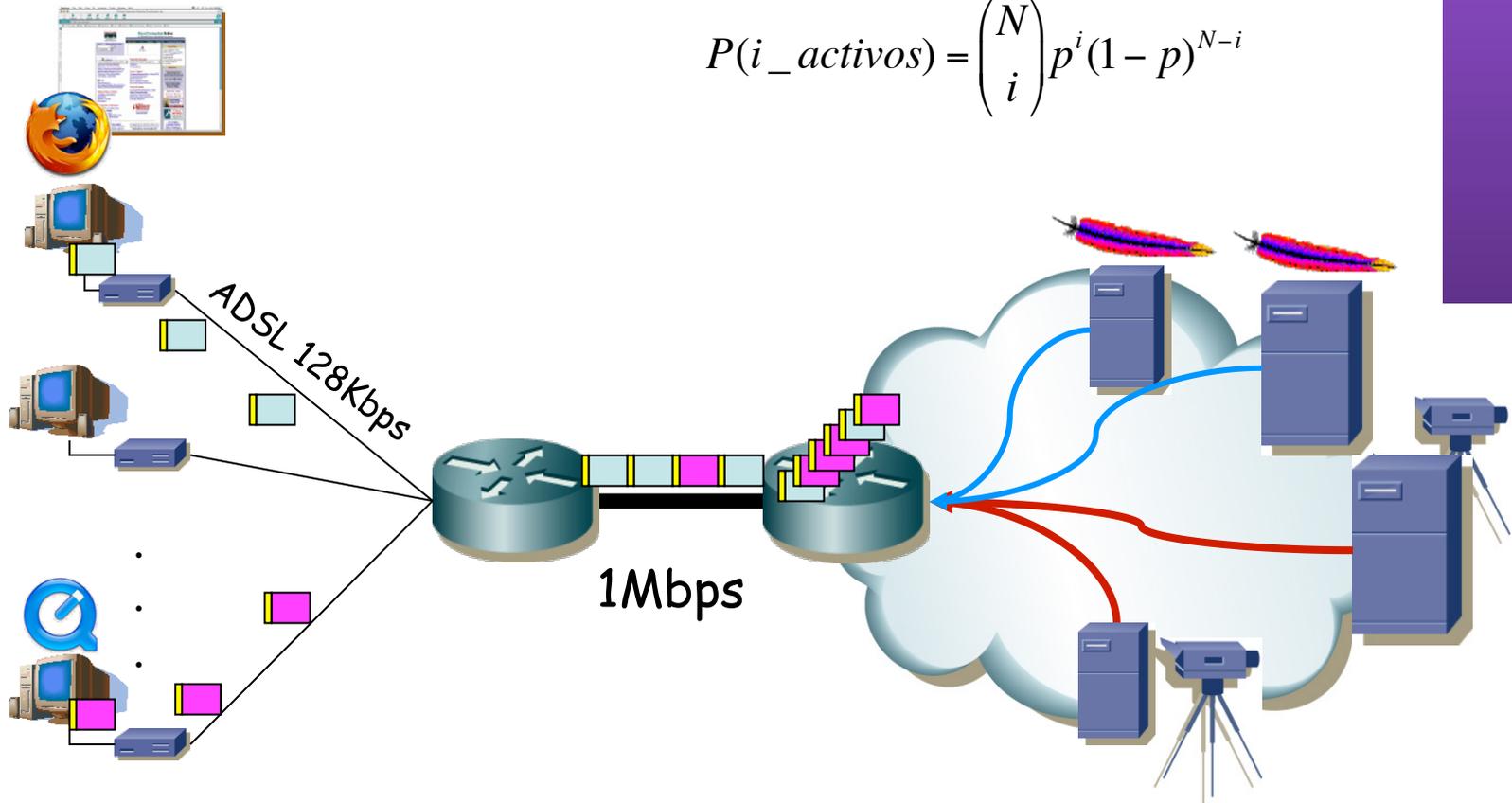
$$P(0\_activos) = (1 - p)^N$$

$$P(1\_activo) = Np(1 - p)^{N-1}$$

$$P(2\_activos) = \frac{N(N-1)}{2} p^2(1 - p)^{N-2}$$

$$P(i\_activos) = \binom{N}{i} p^i (1 - p)^{N-i}$$

35 usuarios ADSL



# Ejemplo

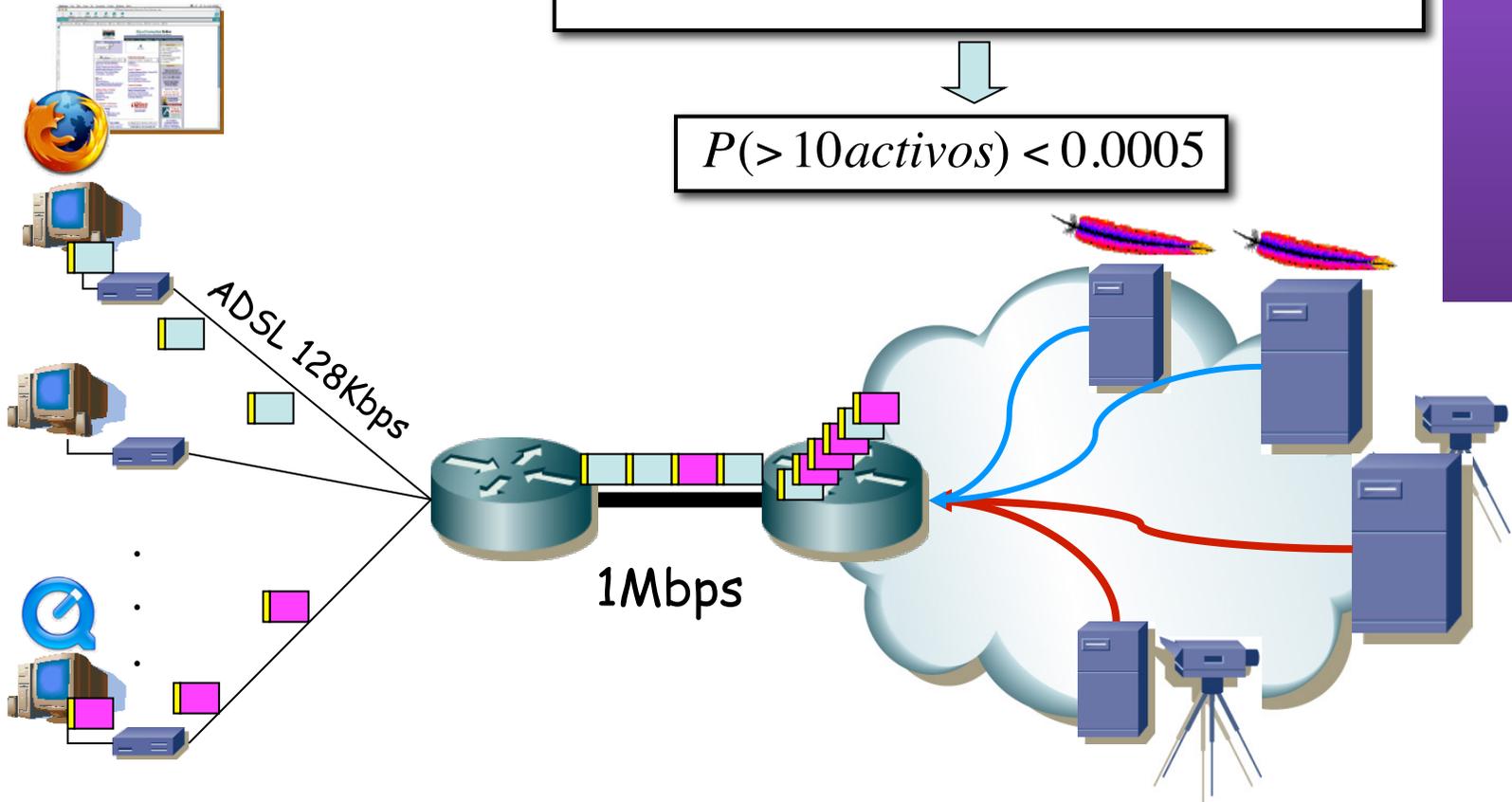
¿ Cuál es la probabilidad de que más de 10 usuarios reciban tráfico a la vez ?

$$P(\leq 10 \text{ activos}) = \sum_{i=0}^{10} \binom{N}{i} p^i (1-p)^{N-i}$$

$$P(> 10 \text{ activos}) = 1 - \sum_{i=0}^{10} \binom{N}{i} p^i (1-p)^{N-i}$$

$$P(> 10 \text{ activos}) < 0.0005$$

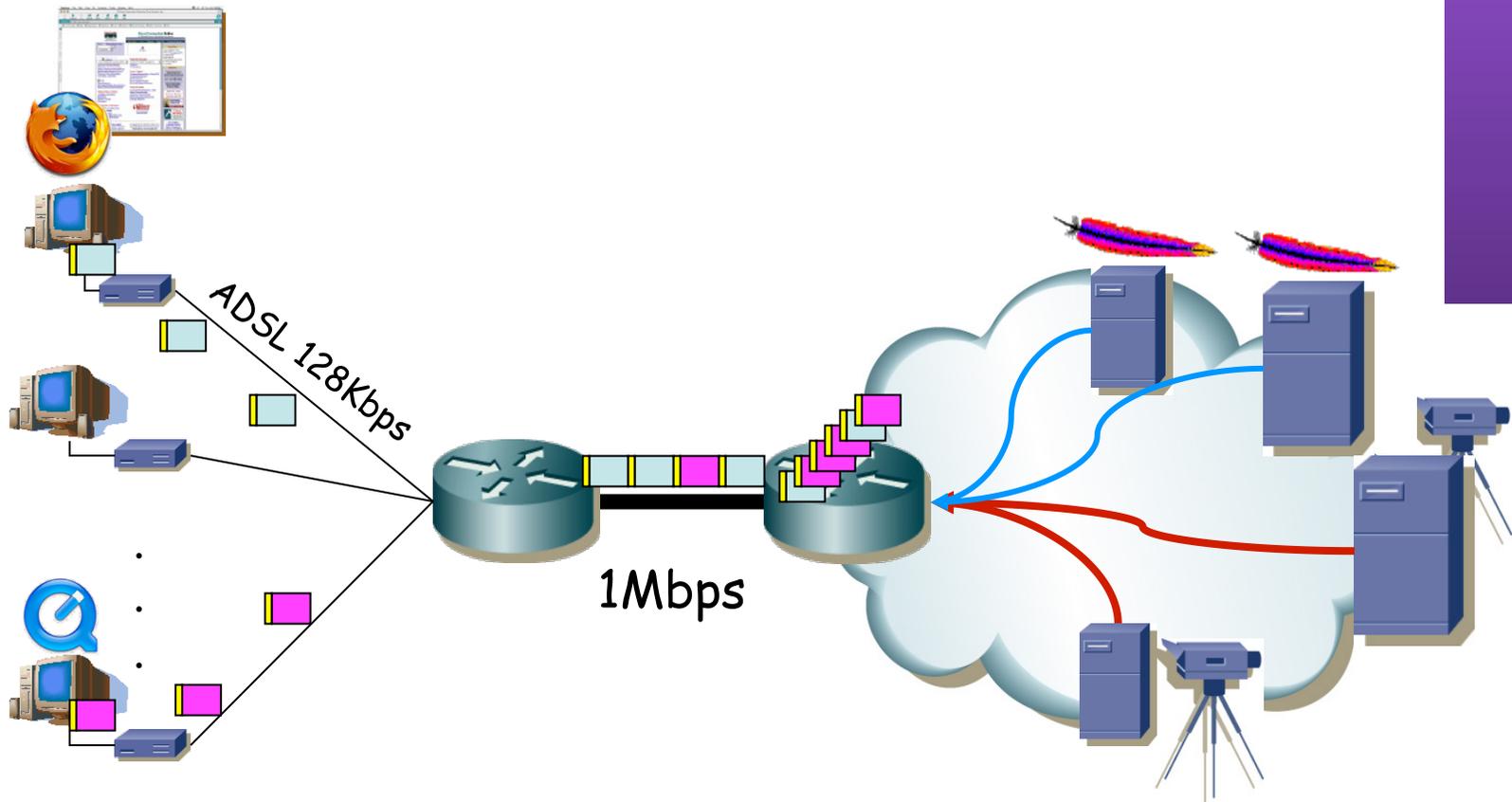
35 usuarios ADSL



# Ejemplo

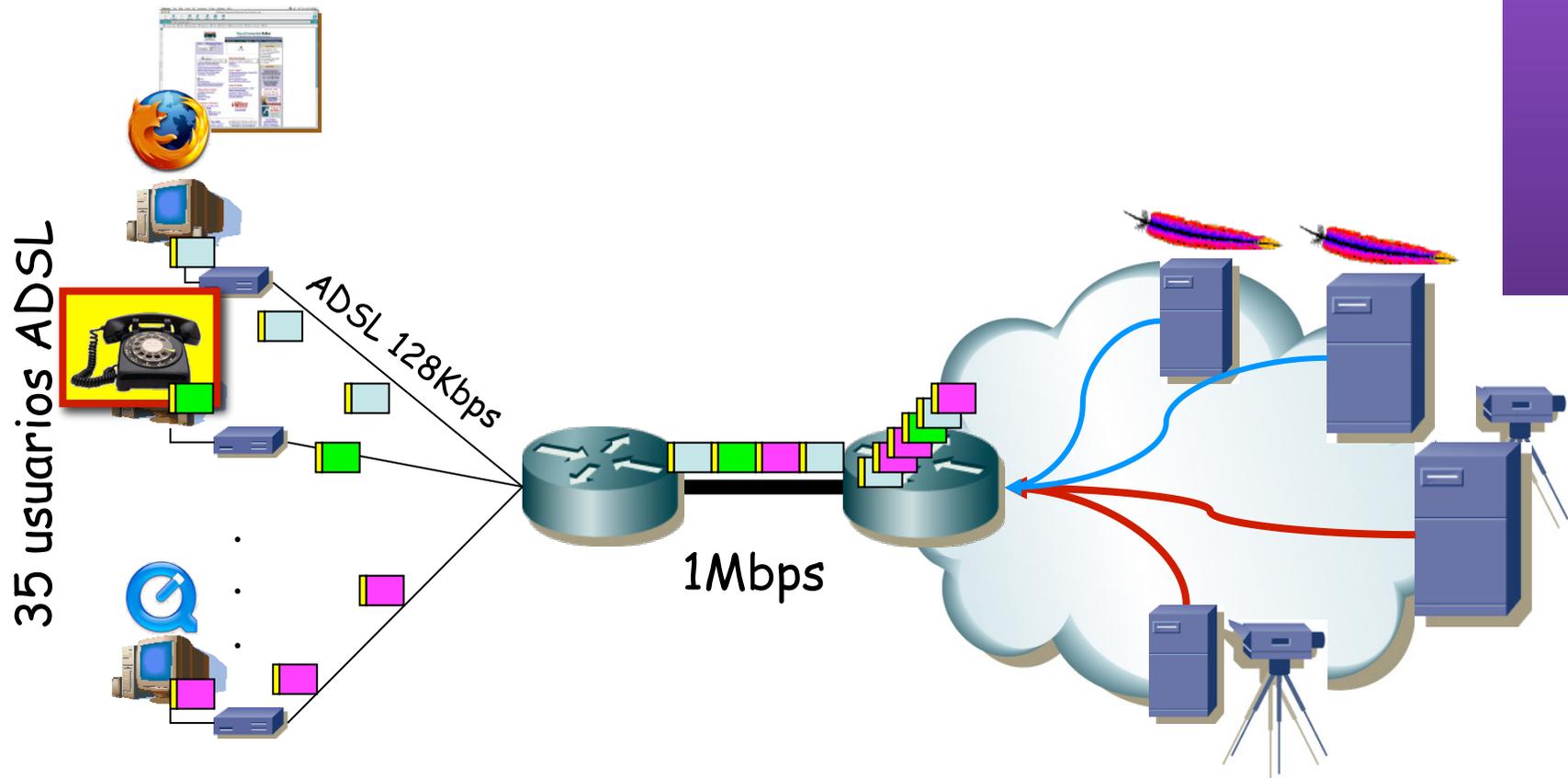
- 35 usuarios x 128 Kbps/usuario = 4,48Mbps
- 4,48Mbps > 1Mbps
- Congestión en enlace de acceso sin dar 128Kbps a todos los usuarios
- *Sobresuscripción (overbooking)*

35 usuarios ADSL



# Ejemplo

- Si ahora un usuario quiere emplear una aplicación de voz
- Pérdidas
- Excesivo retardo



# Conmutación de paquetes

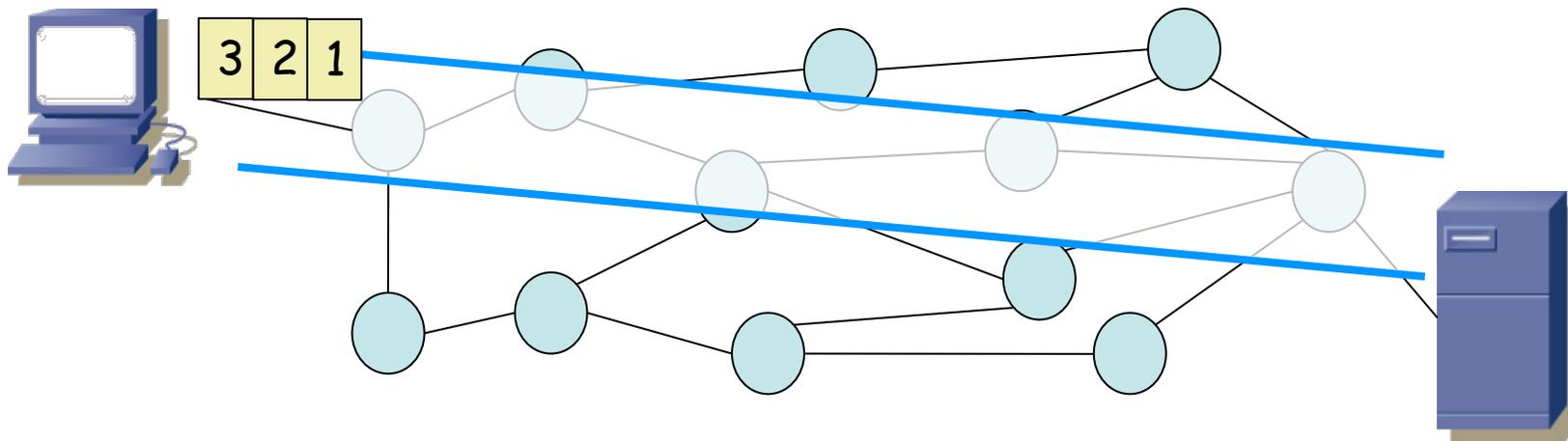
## Tipos

- Circuitos Virtuales
- Datagramas

# Conmutación de paquetes

## Circuitos virtuales

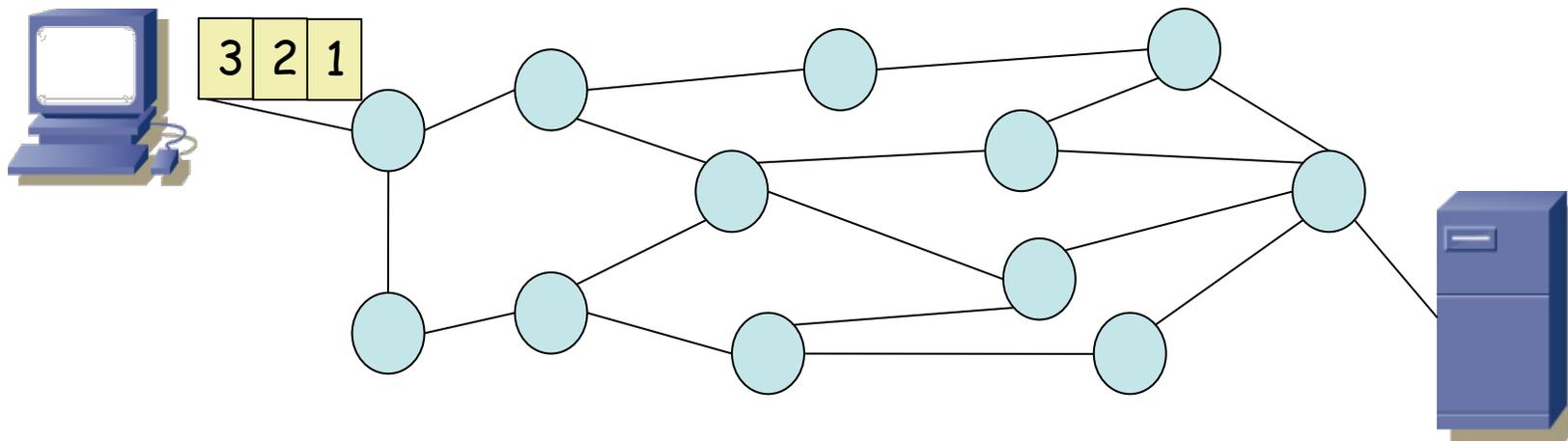
- “Orientado a conexión”
- Se establece un camino extremo a extremo (...)
- Los paquetes siguen el camino establecido (...)



# Conmutación de paquetes

## Datagramas

- Cada nodo toma la decisión de encaminamiento para cada datagrama (...)
- Sin conexión



# Circuitos virtuales y datagramas

- **Circuitos virtuales**

- La red puede proporcionar entrega en orden y control de errores
- Los paquetes se reenvían más rápido (hay que pensar menos por cada paquete)
- Menos fiabilidad de la red (es más difícil adaptarse a que caiga un enlace)

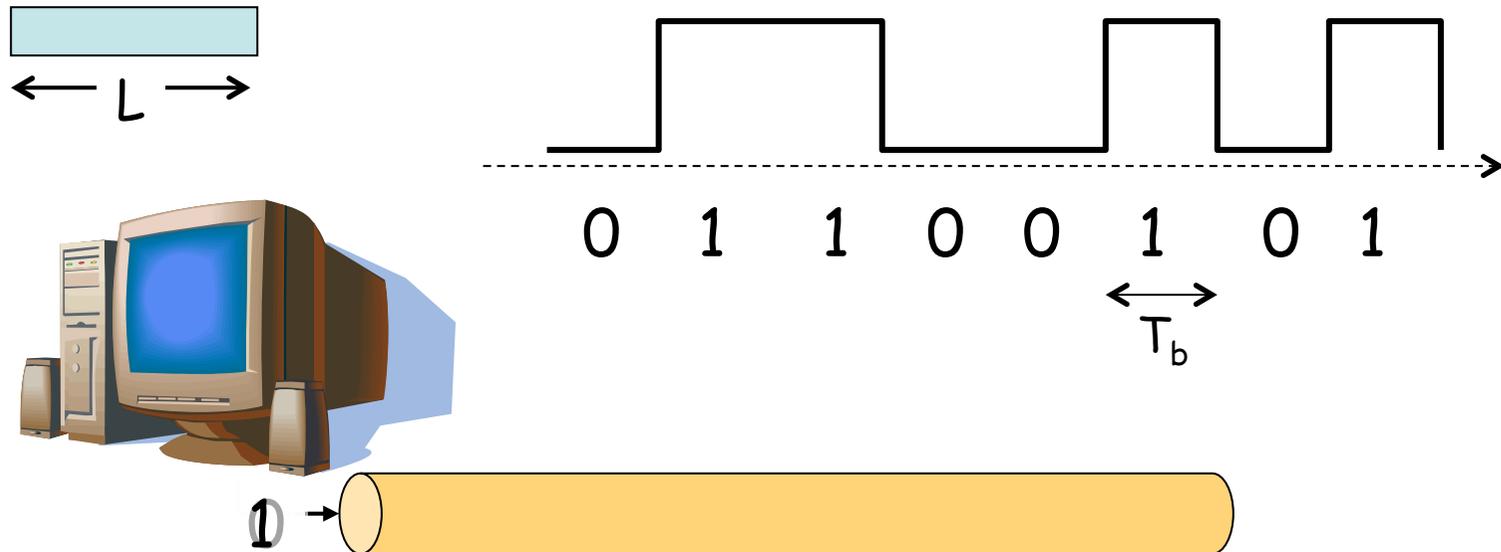
- **Datagramas**

- No hay establecimiento de circuito (más rápido)
- Más flexible
- Más fiable

# Retardos

# Retardo de transmisión

- Tiempo que tarda el transmisor en colocar los bits en el canal
- También llamado retardo de serialización
- Bits por segundo (bps) (...)
- Ejemplo:
  - Longitud del paquete  $L = 1.500$  Bytes =  $12.000$  bits
  - Tasa de transmisión  $R = 57.600$  bps ( $T_b = 17.36 \mu\text{seg}$ )
  - Tiempo de transmisión =  $L/R = 12.000 \text{ bits} / 57.600 \text{ bps} \approx 208 \text{ mseg}$

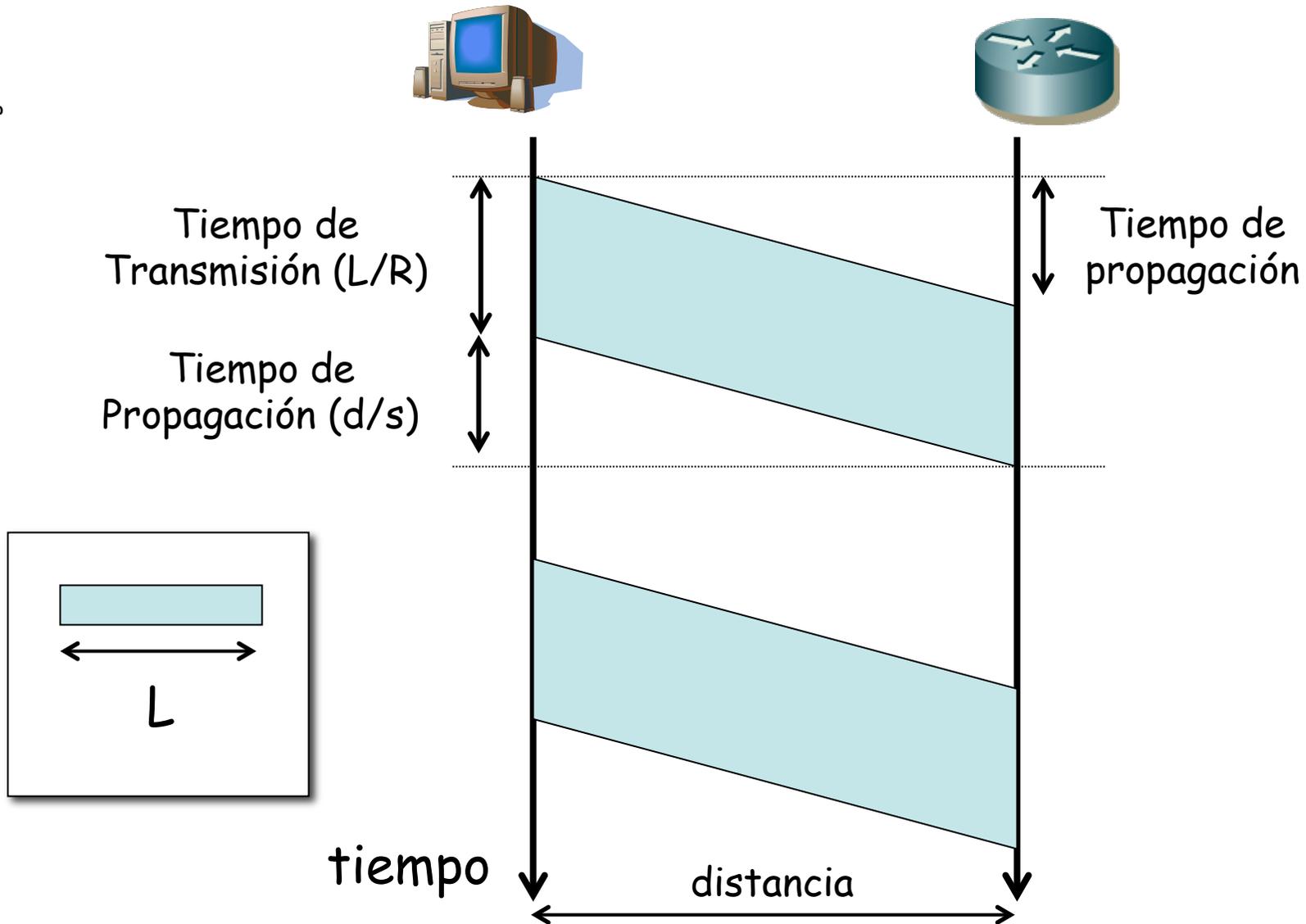


# Retardo de propagación

- Tiempo que tarda la señal en llegar al otro extremo del sistema de transmisión (...)
- Ejemplo:
  - Longitud del enlace físico  $d = 2.000 \text{ Km}$
  - Velocidad de propagación en el medio  $s = 200.000 \text{ Km/seg}$
  - Retardo de propagación  $= d/s = 2 \times 10^6 \text{ m} / (2 \times 10^8 \text{ m/seg}) = 10 \text{ mseg}$
- La velocidad de transmisión y la velocidad de propagación son conceptos muy diferentes
- Velocidad de propagación en Km/s
  - En coaxial en torno a  $250.000 \text{ Km/s}$
  - En fibra óptica en torno a  $200.000 \text{ Km/s}$



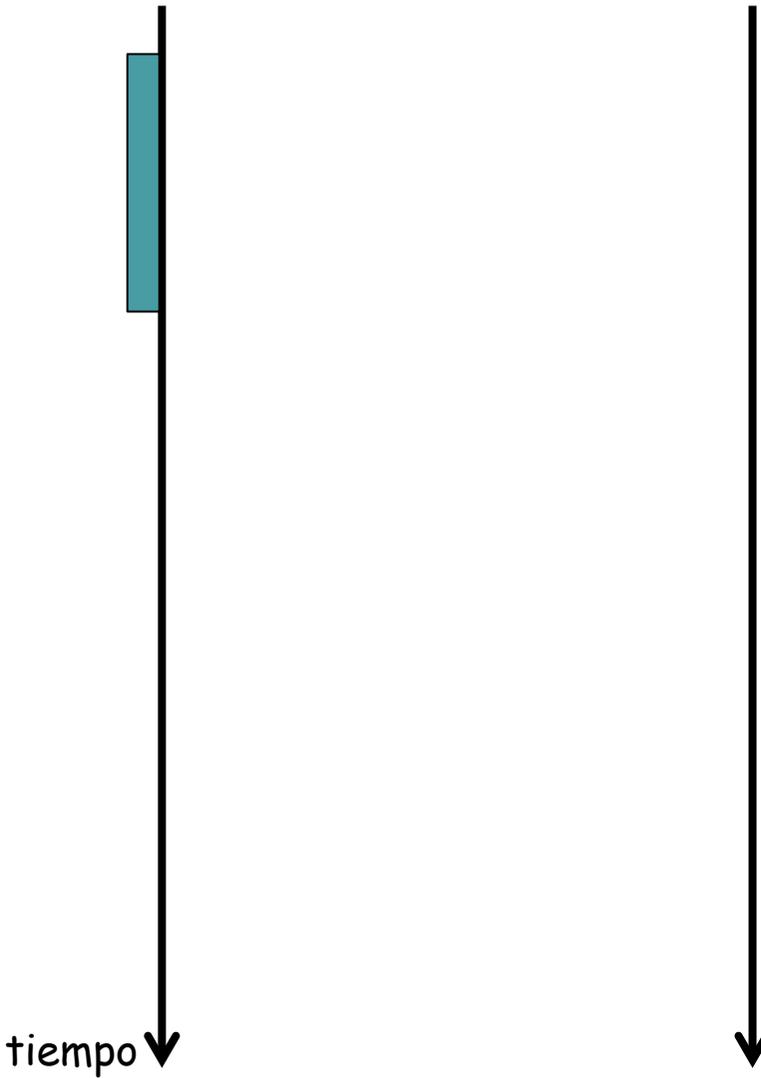
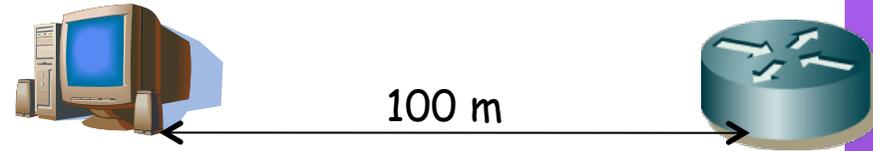
# Retardos de transmisión y propagación



# Retardos de transmisión y propagación

## Ejemplo

- $L = 1500$  Bytes
- $R = 10$  Mbps
- $s = 200.000$  km/s
- $d = 100$  m
- ¿Cuándo empieza a recibirse?
- ¿Cuándo se ha terminado de recibir?

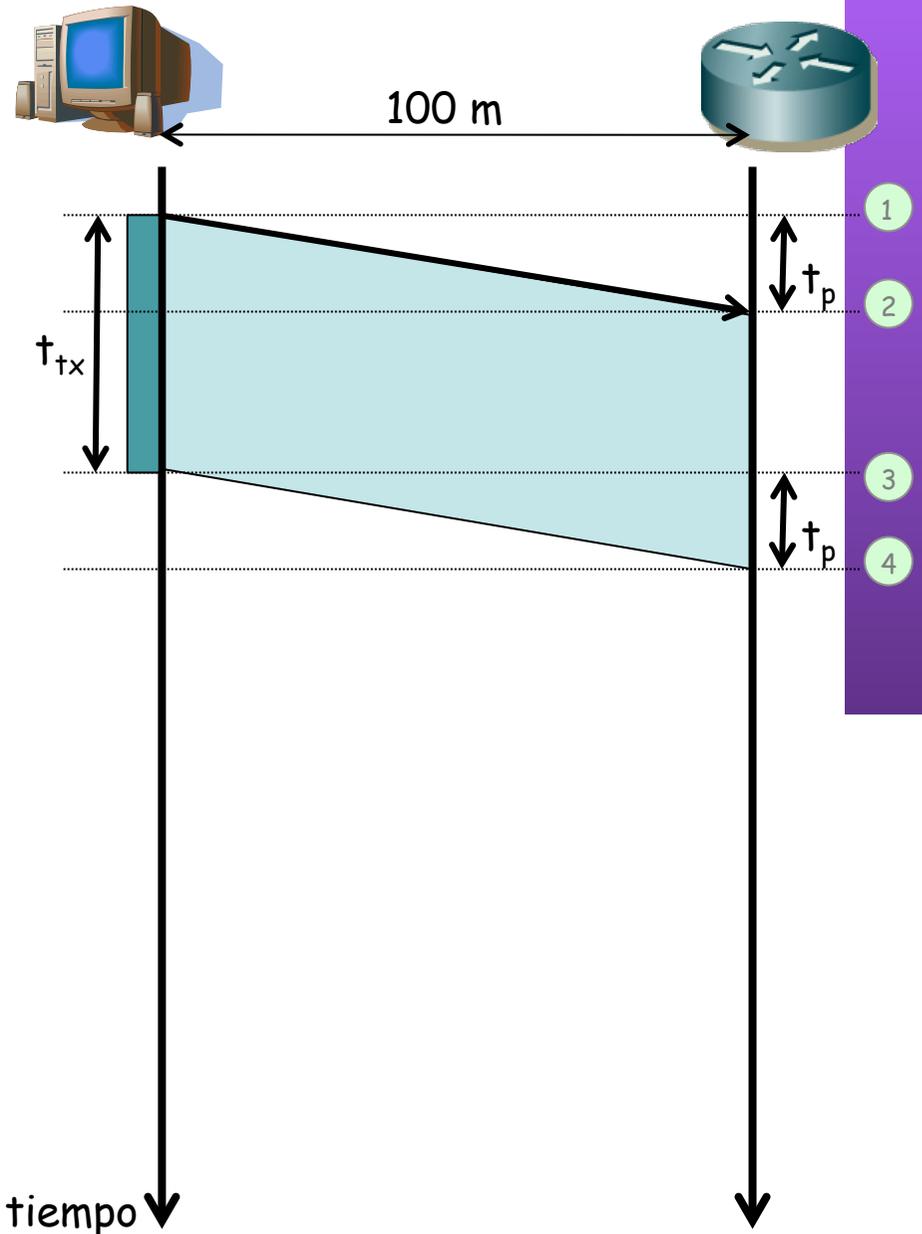


# Retardos de transmisión y propagación

## Ejemplo

- $L = 1500$  Bytes
- $R = 10$  Mbps
- $s = 200.000$  km/s
- $d = 100$  m
- ¿Cuándo empieza a recibirse?
- ¿Cuándo se ha terminado de recibir?

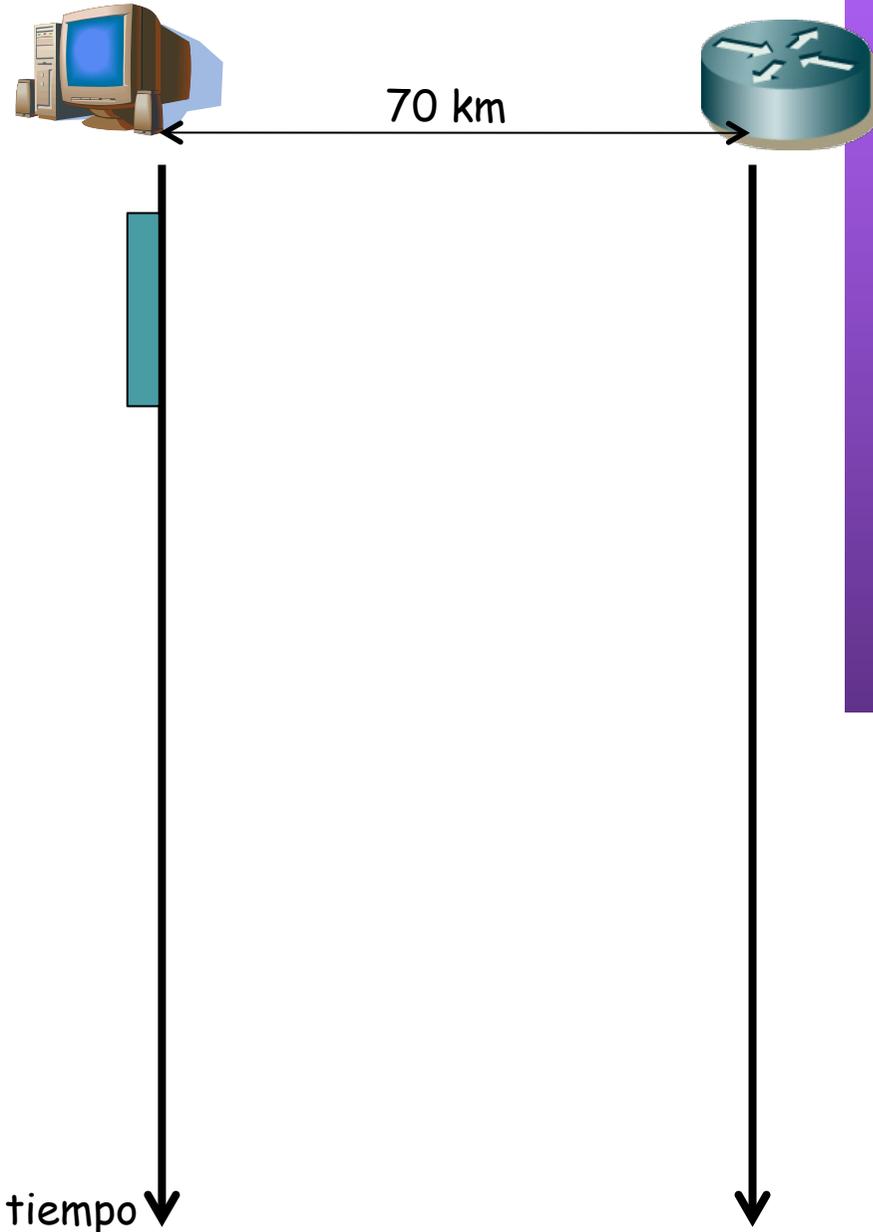
- $t_{tx} = L/R = 1500 \times 8 / 10^7 = 1.2$  ms
  - $t_p = d/s = 100 / (2 \times 10^8) = 0.5$   $\mu$ s
1. Empieza transmisión ( $t=0$ )
  2. Empieza recepción primer bit ( $t_p$ )
  3. Termina transmisión ( $t_{tx}$ )
  4. Termina recepción ( $t_{tx} + t_p = 1.2005$ ms)



# Retardos de transmisión y propagación

## Ejemplo

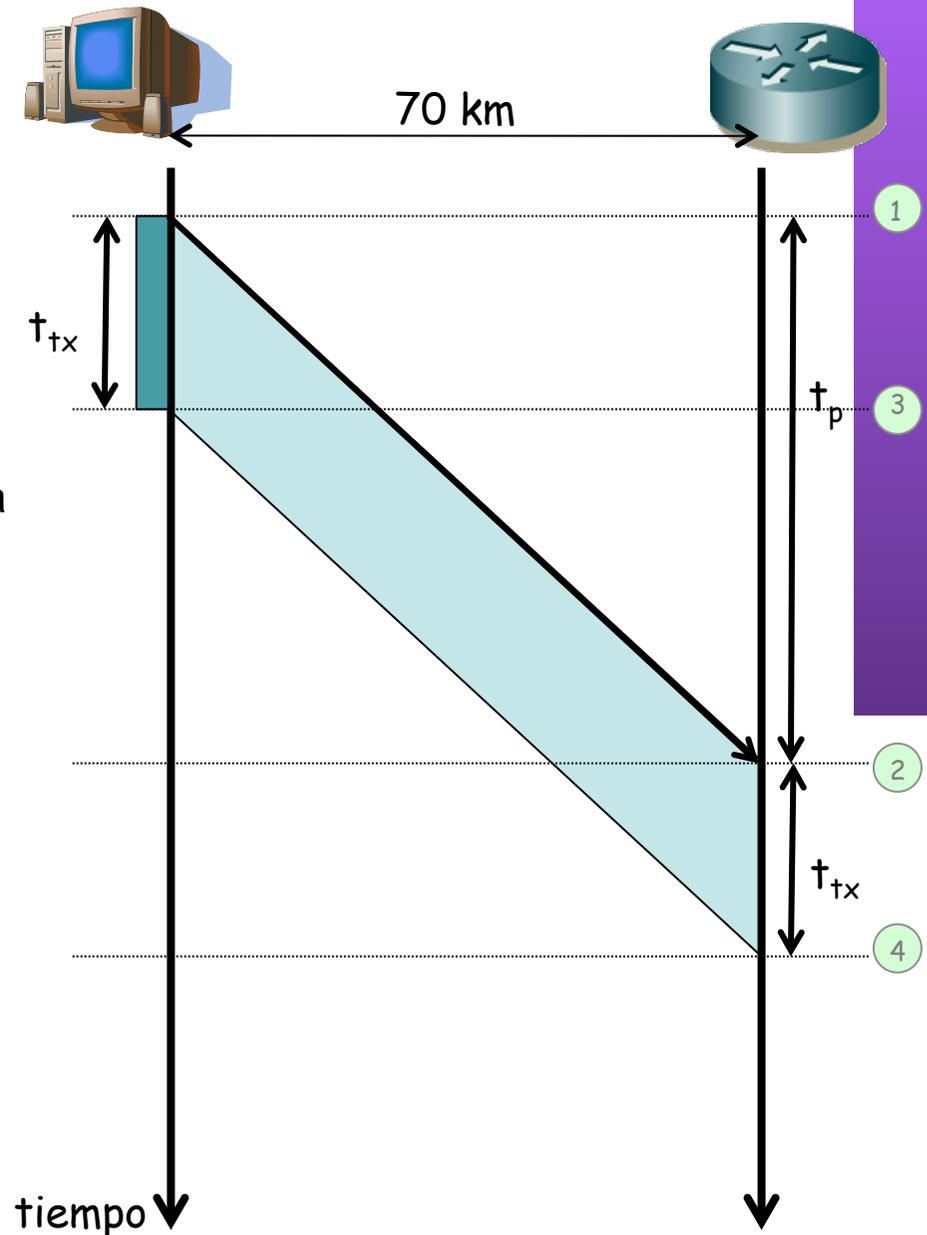
- $L = 1500$  Bytes
- $R = 100$  Mbps
- $s = 200.000$  km/s
- $d = 70$  km
- ¿Cuándo empieza a recibirse?
- ¿Cuándo se ha terminado de recibir?
- ¿Dónde está  $0.17$  ms tras empezar la transmisión?



# Retardos de transmisión y propagación

## Ejemplo

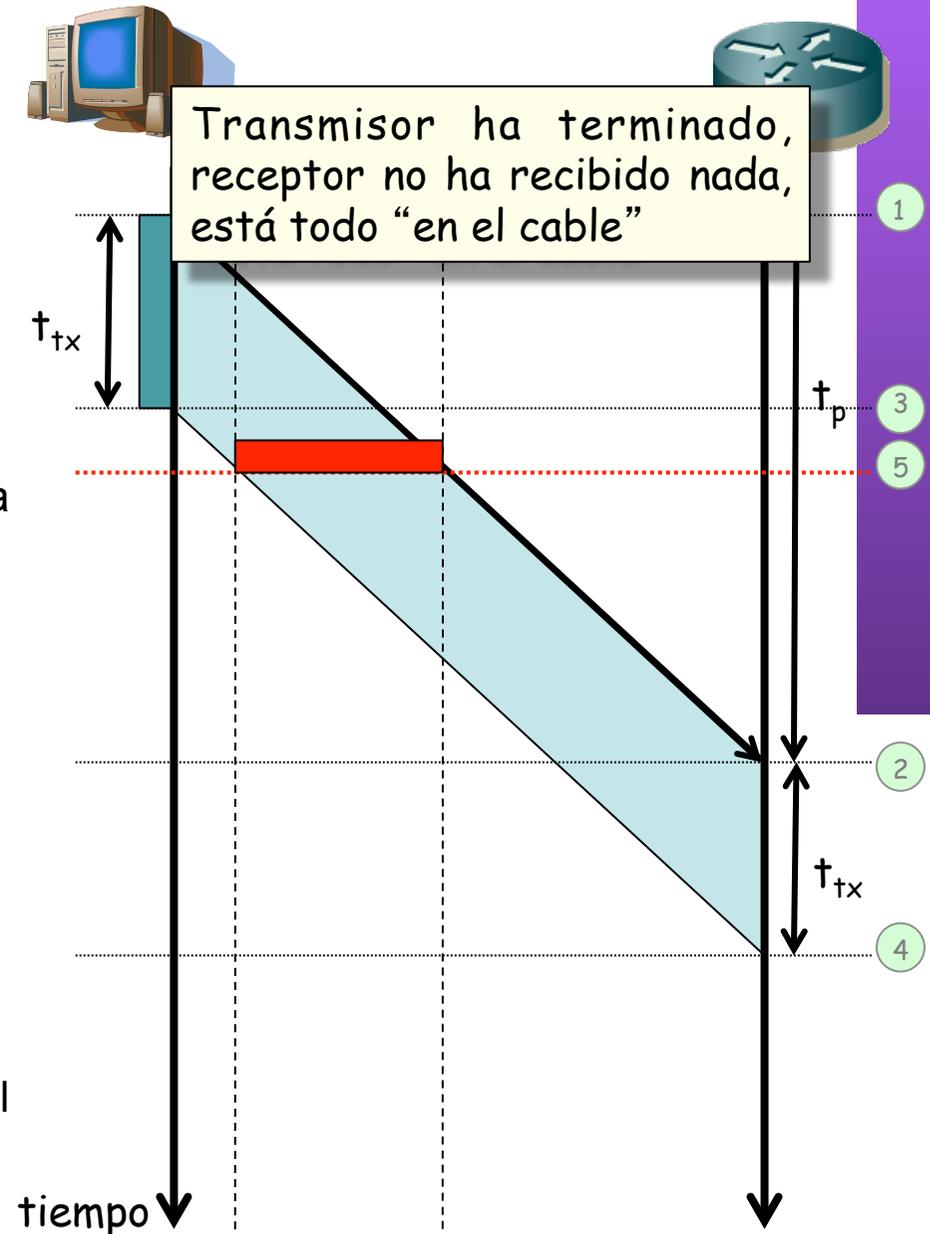
- $L = 1500$  Bytes
  - $R = 100$  Mbps
  - $s = 200.000$  km/s
  - $d = 70$  km
  - ¿Cuándo empieza a recibirse?
  - ¿Cuándo se ha terminado de recibir?
  - ¿Dónde está 0.17 ms tras empezar la transmisión?
  - $t_{tx} = L/R = 1500 \times 8 / 10^8 = 0.12$  ms
  - $t_p = d/s = 7 \times 10^4 / (2 \times 10^8) = 0.35$  ms
1. Empieza transmisión ( $t=0$ )
  2. Empieza recepción primer bit ( $t_p$ )
  3. Termina transmisión ( $t_{tx}$ )
  4. Termina recepción ( $t_{tx} + t_p = 0.47$  ms)



# Retardos de transmisión y propagación

## Ejemplo

- $L = 1500$  Bytes
- $R = 100$  Mbps
- $s = 200.000$  km/s
- $d = 70$  km
- ¿Cuándo empieza a recibirse?
- ¿Cuándo se ha terminado de recibir?
- ¿Dónde está 0.17 ms tras empezar la transmisión?
- $t_{tx} = L/R = 1500 \times 8 / 10^8 = 0.12$  ms
- $t_p = d/s = 7 \times 10^4 / (2 \times 10^8) = 0.35$  ms
- 1. Empieza transmisión ( $t=0$ )
- 2. Empieza recepción primer bit ( $t_p$ )
- 3. Termina transmisión ( $t_{tx}$ )
- 4. Termina recepción ( $t_{tx} + t_p = 0.47$  ms)
- Instante 0.17 ms
  - $0.05ms \times s$  a  $0.17ms \times s$  (10-34km)
- **Ejercicio:** ¿cuántos bits caben en el cable si la distancia es de 100km?



# Resumen

- Conmutación de circuitos
  - Establecimiento del circuito
  - Reserva de recursos
- Conmutación de paquetes
  - Cada paquete emplea toda la capacidad del enlace
  - Un usuario puede aprovechar los silencios de otros
  - Circuitos virtuales o datagramas
- Retardo de transmisión y de propagación