



REDES DE COMPUTADORAS 1

Clase 1: Conceptos generales

Contenidos

- ¿Qué es una red de computadoras?
- ¿Qué es Internet?
- La frontera de la red
 - Redes de acceso
 - Medios físicos
- El núcleo de la red
- Estructura de Internet e ISPs
- Retardos & pérdidas en redes de paquetes conmutados
- Capas de protocolos, Modelo de servicio

¿Qué es una red de computadoras?

Una Red de Computadoras es un grupo de computadoras/dispositivos interconectados.

El conjunto (computadoras, software de red, medios y dispositivos de interconexión) forma un sistema de comunicación.

Objetivo: compartir recursos (dispositivos, información, servicios)

Ejemplos: red de la sala de PCs, red Universitaria, red de sensores, Internet.

Componentes de un Sistema de Comunicaciones

- **Fuente** (Software).
- **Emisor/Transmisor** (Hardware).
- *Medio de transmisión y dispositivos intermedios* (Hardware).
- Procesos intermedios que tratan la información (Software y Hardware).
- **Receptor** (Hardware).
- **Destino** (Software).
- Otros: *Protocolos* (Software), Información, mensaje transmitido (Software).
- Señal de Información, materialización del mensaje sobre el medio (Hardware?).

¿Qué es Internet?

Es una Red de computadoras que interconecta millones de dispositivos de cómputo (Hosts)

- “Red de redes”
 - Débilmente jerárquica
 - Internet pública versus **intranet** privadas
- Los *protocolos* controlan el envío, recepción de mensajes
Ej. TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- Estándar en Internet
 - RFC: Request for comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force

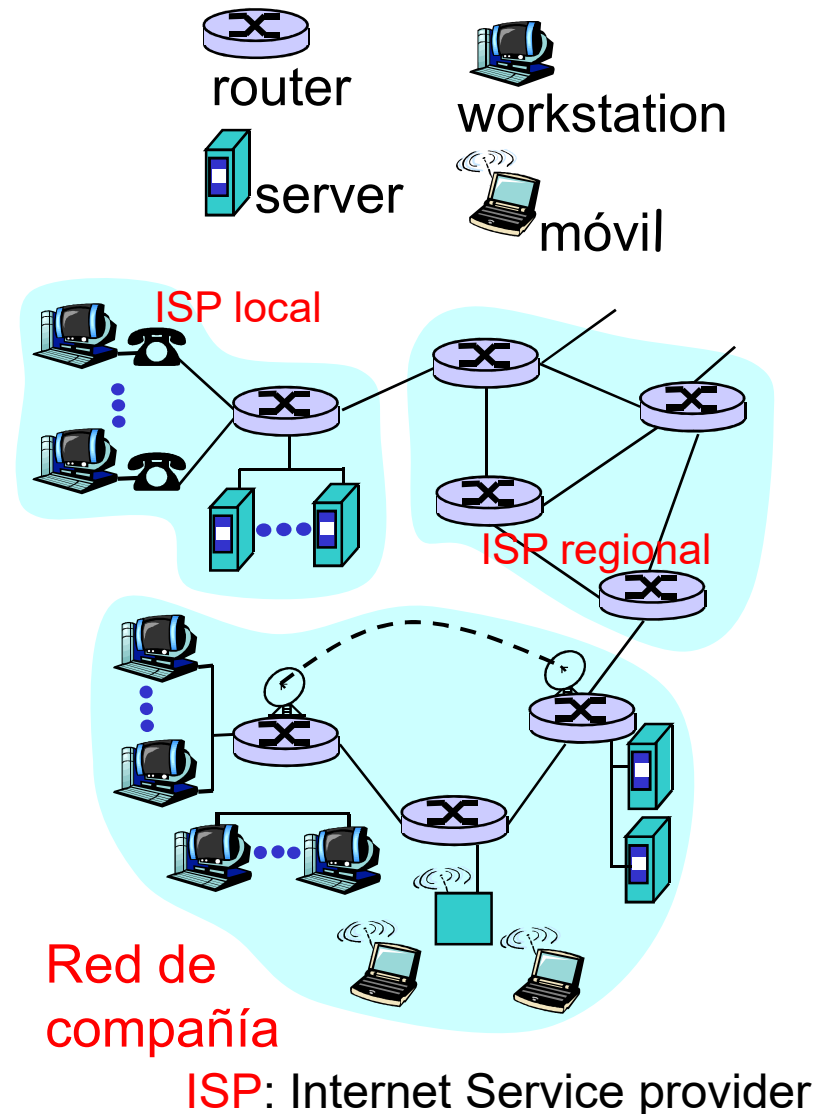
¿Qué es Internet?

→ *Hosts:* sistema terminal
(corren las *aplicaciones de red*)

→ *Conectados vía Enlaces de comunicaciones:*

- fibra, cobre, radio, satélite
- Tasas de transmisión = "**ancho de banda (bandwidth)**"

→ *Routers/Switches:*
dispositivos de conmutación de paquetes (re-envían paquetes)



Descripción de los servicios

*Infraestructura que proporciona **servicios** a las aplicaciones*

Aplicaciones:

- ❑ Se ejecutan en los sistemas terminales (no en los routers)
- ❑ Distribuidas (que implican a varios sistemas terminales intercambiando datos entre sí).
- ❑ Ejemplos: Correo electrónico, navegación web, mensajería instantánea, radio/televisión por internet, juegos distribuidos, compartición de archivos entre pares (P2P), etc.

¿Qué es un protocolo?

Es un conjunto de reglas que definen:

- *El formato y orden de mensajes entre entidades de la red.*
- *Las acciones tomadas al transmitir o recibir mensajes.*

Protocolos humanos:

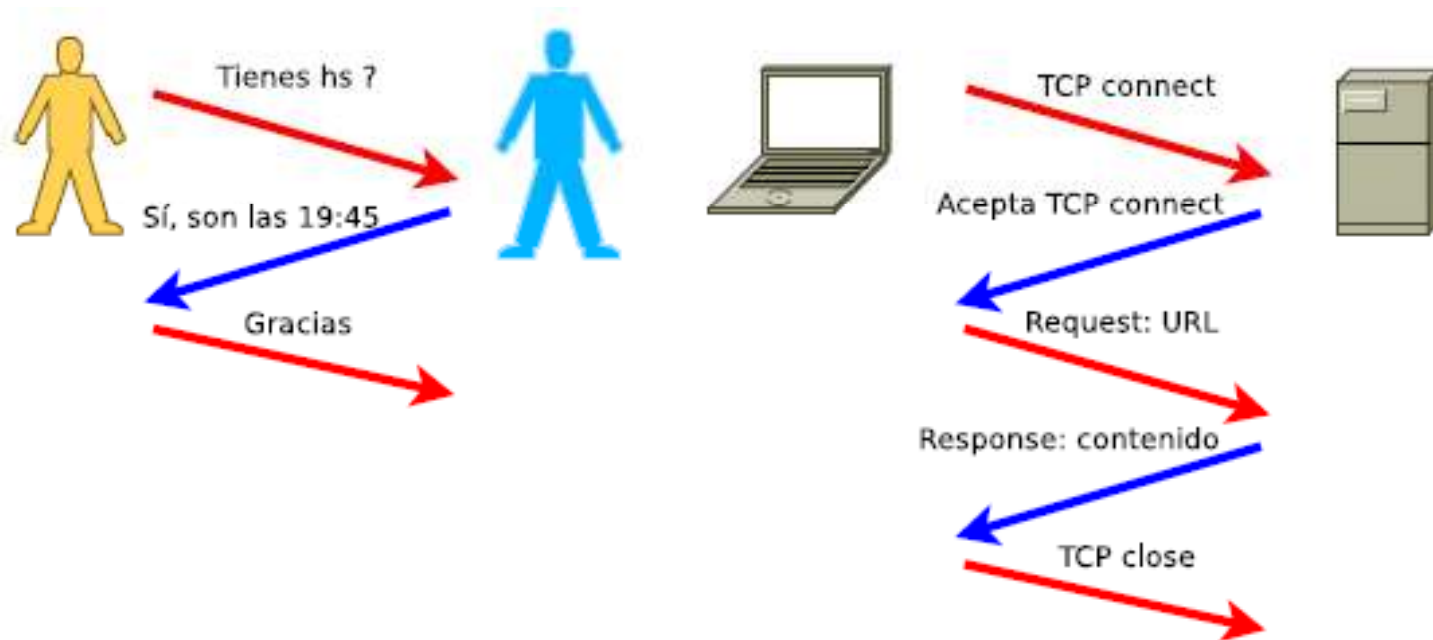
- “¿Qué hora es?”
 - “Tengo una pregunta”
- ... mensaje específico es enviado
- ... acción específica es tomada cuando el mensaje u otros eventos son recibidos

Protocolos de red:

- Máquinas en lugar de humanos
- Todas las actividades de comunicación en Internet son gobernadas por protocolos

¿Qué es un protocolo?

Un protocolo humano y un protocolo en redes de computadores.



TCP: Transmission Control Protocol

¿Qué es un protocolo?

❑ Protocolo humano:

- Deben interpretar, además de palabras, acciones del interlocutor.
- Deben hablar el mismo idioma.
- Se envían mensajes (verbales o no) que aceptan o rechazan la comunicación.

❑ Protocolo de red:

- Las entidades que desean comunicarse deben ejecutar el mismo protocolo.
- TODAS las actividades de internet que implican dos o mas entidades remotas están gobernadas por protocolos.
- Ejemplos: HTTP, SMTP, FTP, IP, TCP, UDP, PPP, Ethernet, WiFi.

Componentes de una Red

- ❑ *Frontera de la red.*
- ❑ *Núcleo de la red.*

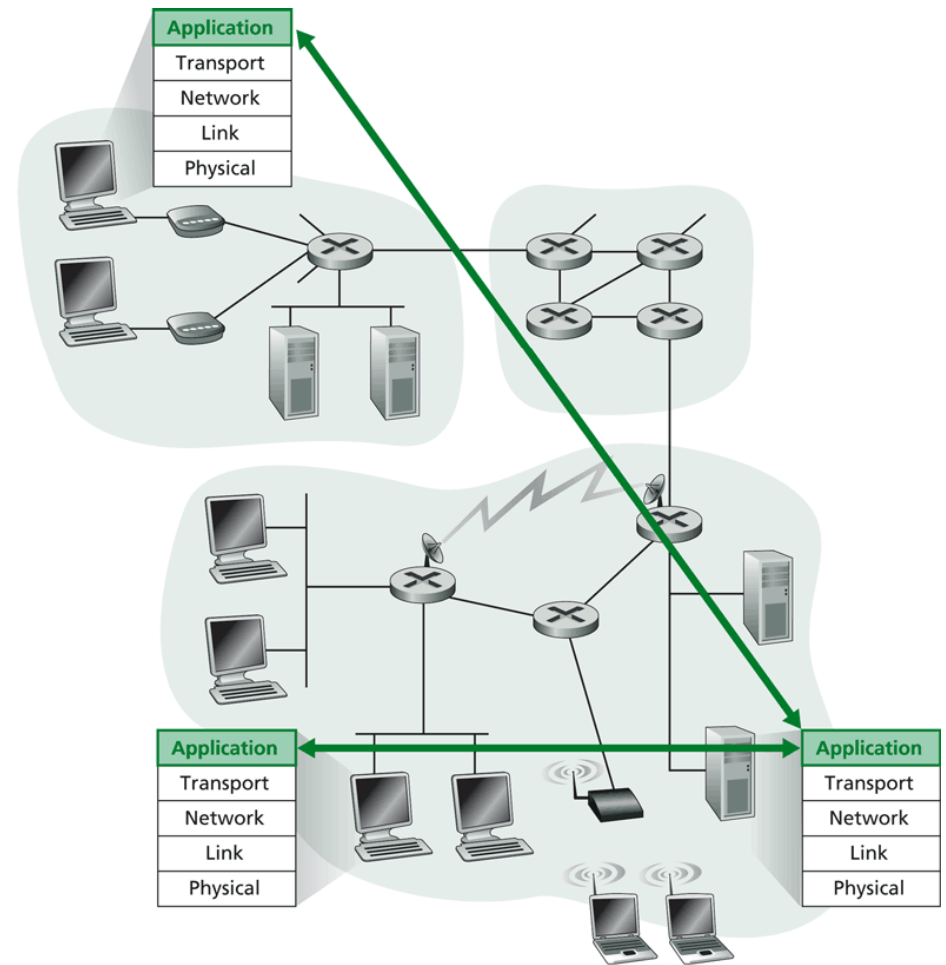


Figure 2.1 ♦ Communication for a network application takes place between end systems at the application layer.

Componentes de una Red

❑ *Frontera de la red.*

- ❖ Terminales o **host**
- ❖ Aplicaciones
- ❖ Redes de Acceso

❑ *Núcleo de la red.*

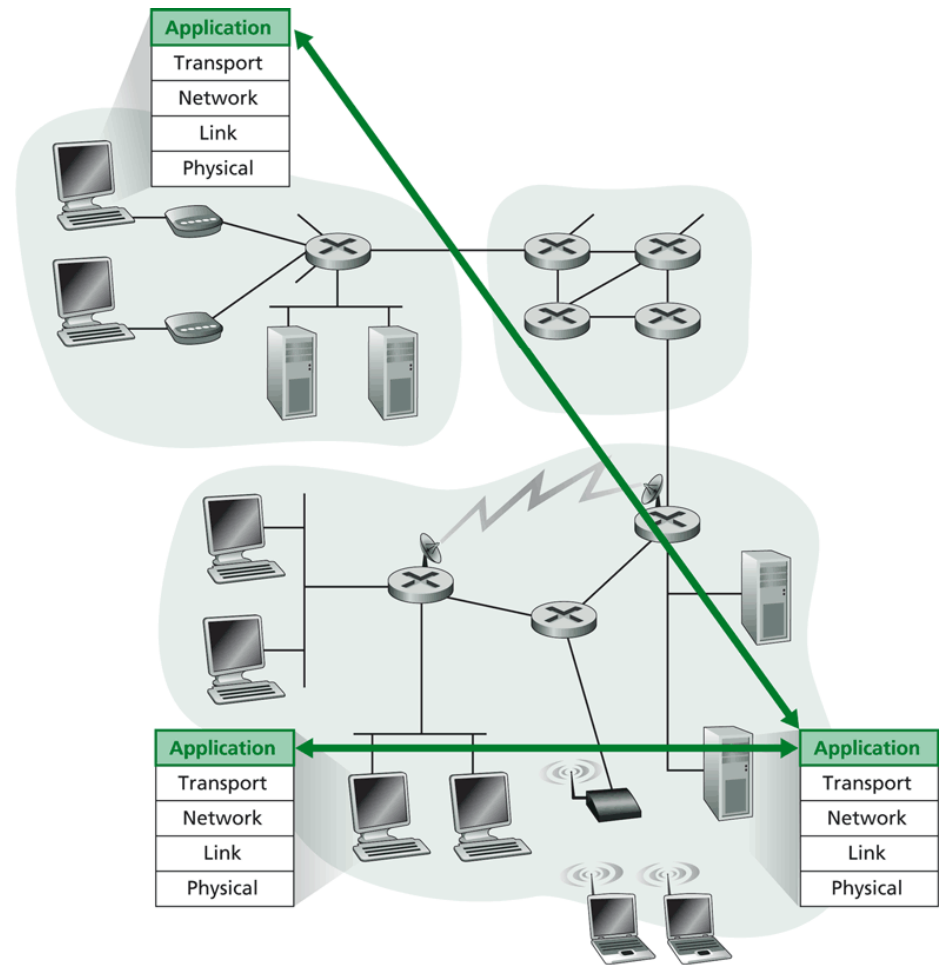


Figure 2.1 ♦ Communication for a network application takes place between end systems at the application layer.

Componentes de una Red

- ❑ *Frontera de la red.*
- ❑ *Núcleo de la red.*
 - ❖ Enrutadores (routers)
 - ❖ Red de redes

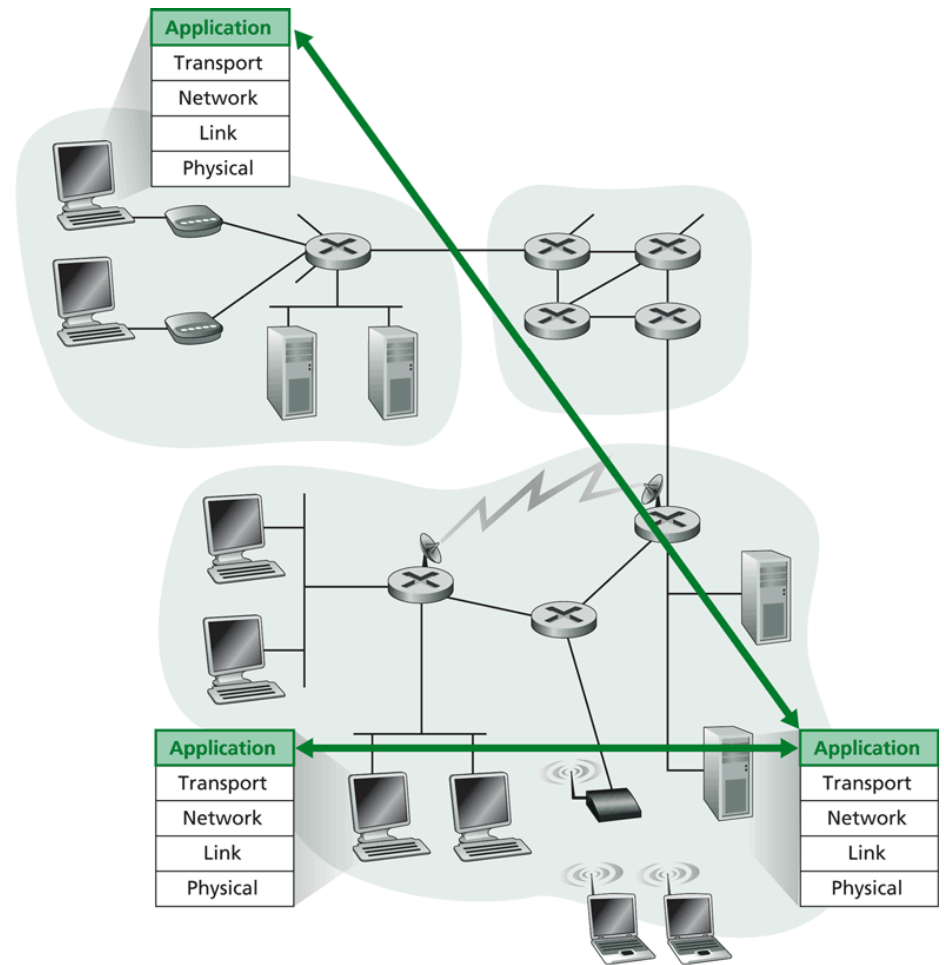


Figure 2.1 ♦ Communication for a network application takes place between end systems at the application layer.

Frontera de la red: *hosts*

❑ *Sistemas terminales (hosts):*

- ❖ PCs, celulares, cámaras web, GPS, ...
- ❖ Corren programas/aplicaciones (Ej: Web, mail, chat)
- ❖ En la periferia de la red

❑ *Modelo cliente/servidor*

- ❖ Terminales clientes: PCs de escritorio, notebooks, celulares, etc. Piden servicios.
- ❖ Terminales servidores: equipos más potentes que almacenan y distribuyen información. “*Always on*”

Frontera de la red: *hosts*

❑ *Modelo peer-to-peer*

- ❖ Uso mínimo de servidores dedicados
- ❖ Ej: Bit Torrent, eMule, otros

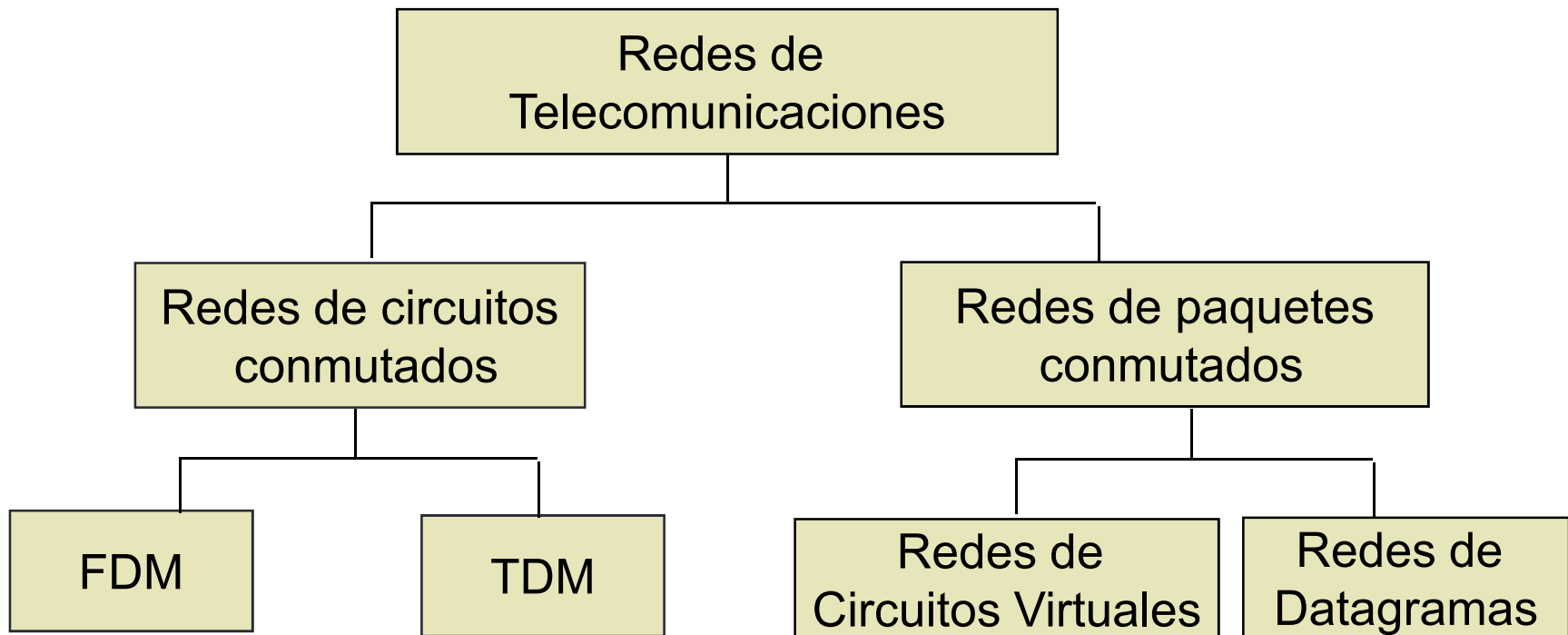
❑ *Modelos híbridos*

- ❖ Mezcla de los dos previos

El núcleo de la red

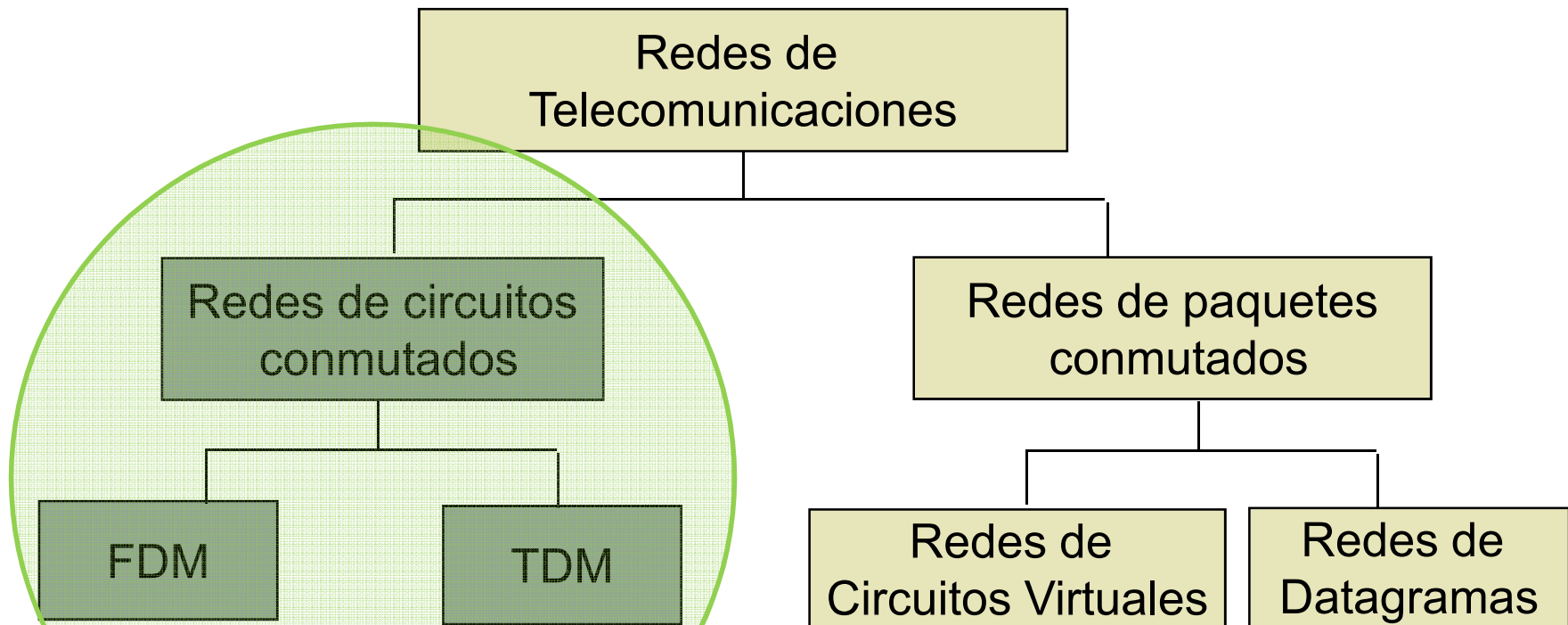
- Malla de routers interconectados
- La pregunta fundamental: Cómo se transfieren datos a través de las redes?
 - **Conmutación de circuitos** (circuit Switching):
Un circuito dedicado por cada “llamada” (ej. red telefónica)
 - **Conmutación de paquetes** (packet switching):
Datos enviados a través de la red en bloques discretos

Taxonomía de redes



- En internet las aplicaciones envían paquetes.
- En su trayecto los paquetes pueden transitar por circuitos conmutados

Taxonomía de redes



- En internet las aplicaciones envían paquetes.
- En su trayecto los paquetes pueden transitar por circuitos conmutados

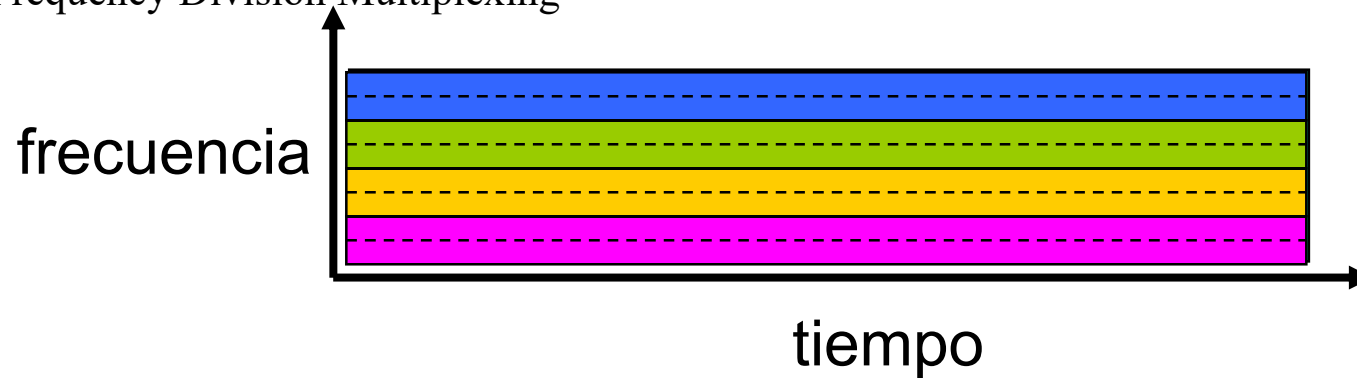
Conmutación de circuitos

(Redes de circuitos conmutados)

- ❑ *Los recursos de la red se “dividen” en “pedazos” (dos formas)*
 - ❖ División en frecuencia FDM (Frequency Division Multiplexing)
 - ❖ División en tiempo TDM (Time Division Multiplexing)
- ❑ *Los recursos desde un terminal a otro son reservados al inicio de la llamada (transmisión de datos)*
 - ❖ Se reserva ancho de banda, enlaces, capacidad en switches
 - ❖ Los recursos reservados son dedicados, no compartidos (el recurso es inactivo si no es usado por el dueño de la llamada)
 - ❖ Capacidad garantizada
 - ❖ Se requiere una configuración de la conexión (call setup) previa al envío.

Conmutación de circuitos: FDM y TDM

FDM (En redes ópticas: WDM)
Frequency Division Multiplexing

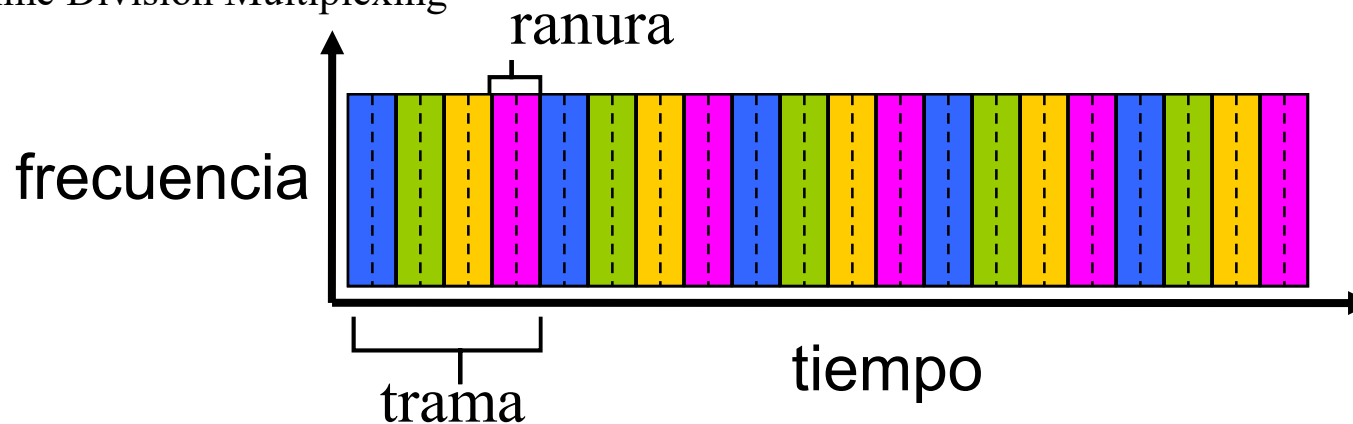


Ejemplo:

4 usuarios 

Ej. Radiodifusoras
Canales en WiFi

TDM
Time Division Multiplexing



Ej.

* Sala de clases

* Redes ópticas:
SONET, SDH

Ejemplo

¿Cuánto tiempo toma enviar un archivo de 640.000 bits desde el host A al host B por una red conmutada por circuitos?

- Todos los enlaces desde A hasta B usan TDM con 24 ranuras.
- El canal tiene una velocidad $R_{\text{canal}} = 1,536 \text{ Mbps}$.
- 500 mseg son requeridos para establecer el circuito terminal a terminal.
- Suponga que no hay overhead (todos los bits del enlace transportan información)

¡¡Resolverlo!!

Ejemplo

- Velocidad de transmisión de cada circuito (cada usuario):

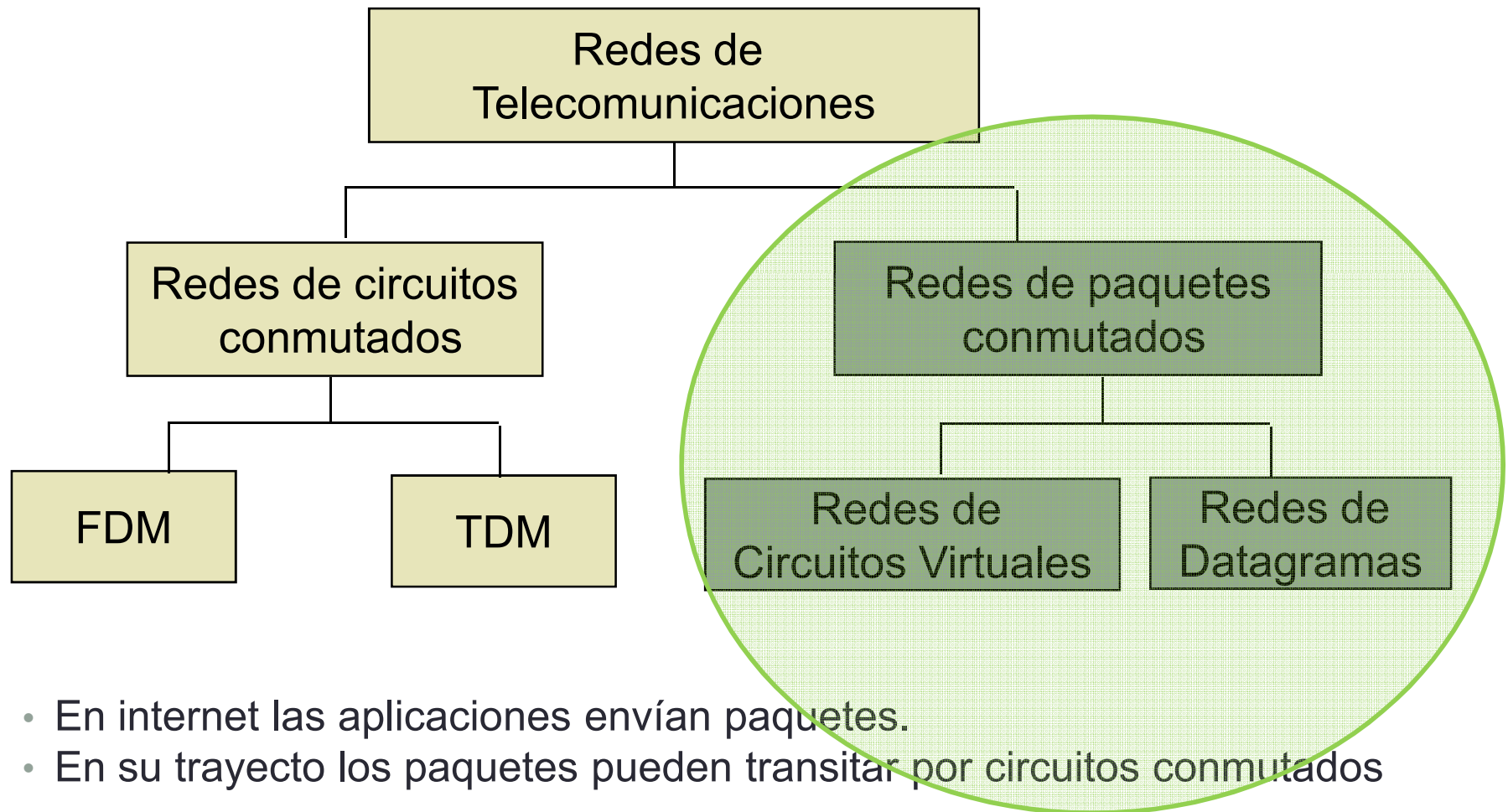
$$v_i = \frac{R_{canal}}{N} = \frac{1,536Mbps}{24} = 64Kbps$$

- Tiempo que tarda en transmitir el archivo:

$$T_{trans} = \frac{640.000bits}{64Kbps} = \frac{640.000bits}{64.000bits/seg} = 10seg$$

$$T_{total} = T_{trans} + T_{est} = 10,5seg$$

Taxonomía de redes



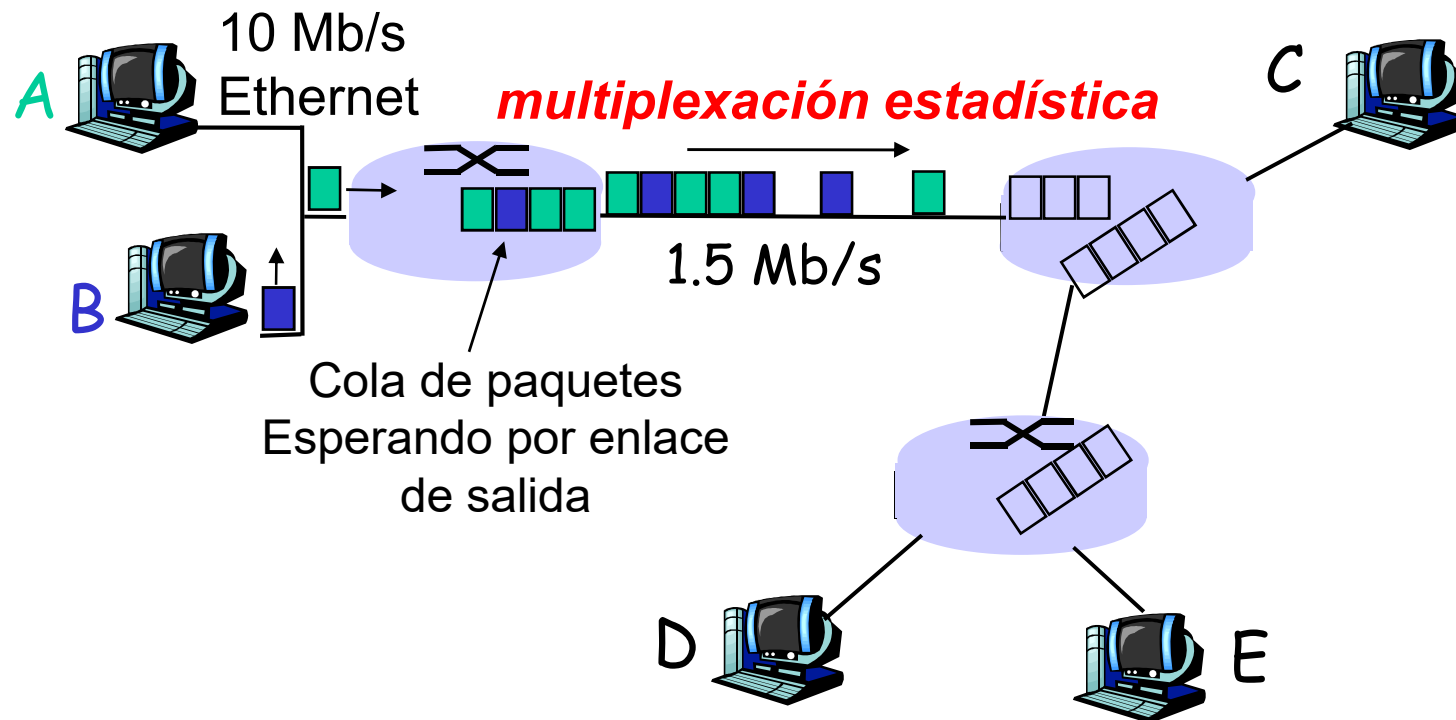
Conmutación de paquetes

(Redes de paquetes conmutados)

- ❑ *Cada flujo de datos extremo a extremo es dividido en paquetes*
 - ❖ Distintos usuarios **comparten los recursos de la red**
 - ❖ Cada paquete usa el **ancho de banda total**.
 - ❖ Recursos son usados según son necesarios
- ❑ *Contención de recursos:*
 - ❖ Demanda acumulada de recursos puede exceder cantidad disponible
 - ❖ Congestión: encolar paquetes, esperar por uso del enlace
 - ❖ Almacenamiento y re-envío (store and forward): paquetes se mueven un tramo por vez
 - ❖ Nodo recibe paquetes completos antes de re-enviarlos

Conmutación de paquetes:

Multiplexación estadística



- Secuencias de paquetes de A y B no tienen patrón fijo → ***multiplexación estadística.***
- Distinto a TDM donde cada host obtiene la misma ranura en la trama TDM.

Ejemplo comparativo

❑ *Enlace de 1 Mb/s*

❑ *Escenario: Cada usuario:*

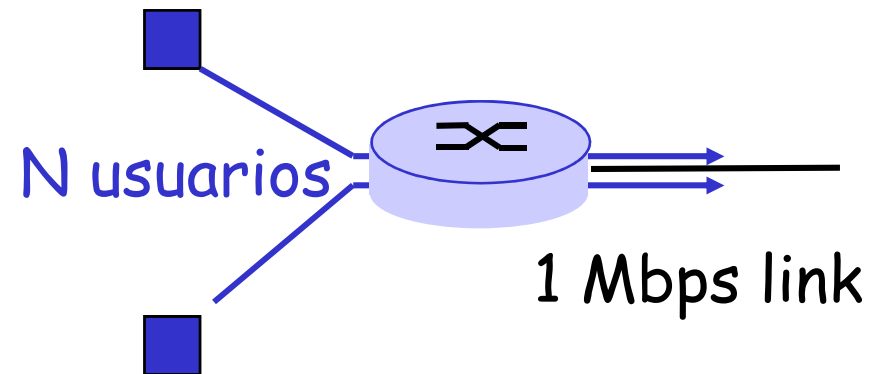
- Usa 100 kb/s cuando están “activos”
- Está activos 10% del tiempo

❑ *Conmutación de circuitos:*

- 10 usuarios

❑ *Conmutación de paquetes:*

- Con 35 usuarios, la probabilidad de tener más de 10 activos es menor que .0004
- Equivale a calcular la probabilidad de obtener más de 10 caras al lanzar 35 “monedas” donde cada “moneda” resulta cara con $P=0.1$



¡Conmutación de paquetes permite que más usuarios usen la red!

Comparación

¿Es la conmutación de paquetes un ganador?

- ❑ *Excelente para datos en ráfagas (de corta duración)*
 - ❖ Se comparten los recursos
 - ❖ Más simple, no requiere establecimiento de llamada.
- ❑ *Ante excesiva congestión: con conmutación de paquetes aparecen **retardos** y **pérdidas de paquetes!!!!***
 - ❖ Protocolos necesarios para transferencia de datos confiable y control de congestión.
- ❑ *¿Cómo proveer comportamiento tipo circuito?*
 - ❖ Por ejemplo en aplicaciones de audio y video es requerido un ancho de banda garantizado.
 - ❖ Aún un problema no resuelto (más adelante en el curso)

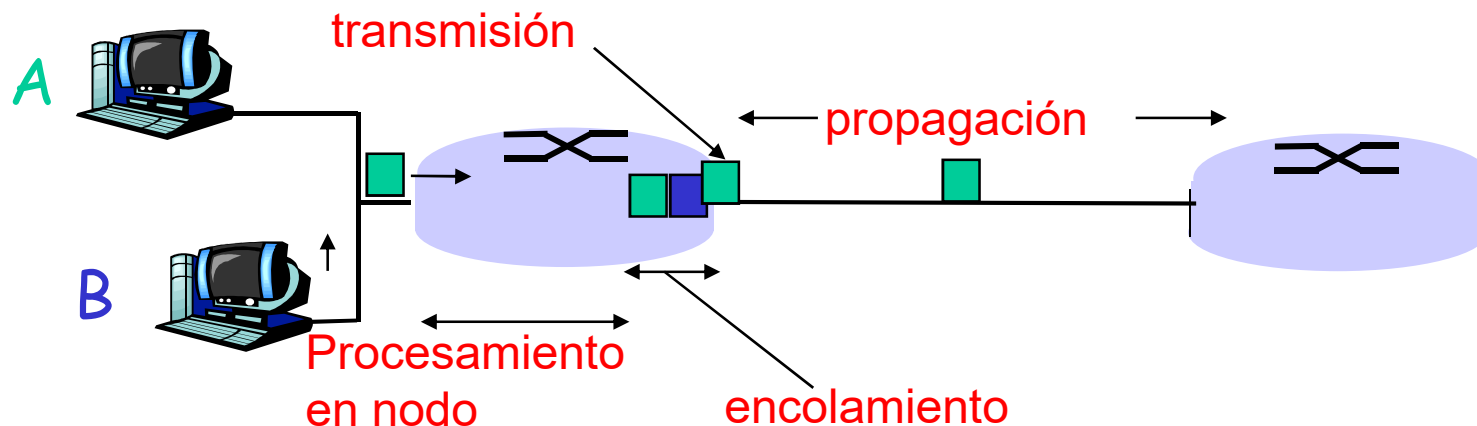
Retardos en Redes de Conmutación de Paquetes

1. Retardo de procesamiento en el nodo:

- Chequeo de bits de error.
- Chequeo de cabecera y det. del enlace de salida.
- Del orden del μ seg o menores.

2. Retardo de cola

- Tiempo esperado en la cola para que los paquetes anteriores sean transmitidos
- Depende del nivel de congestión del router.
- Del orden del μ seg al mseg.



Retardos en Redes de Conmutación de Paquetes

■ 3. Retardo de transmisión:

- Tiempo necesario para transmitir todos los bits del paquete al enlace.
- R: tasa de transmisión del enlace.
- L: longitud del paquete.

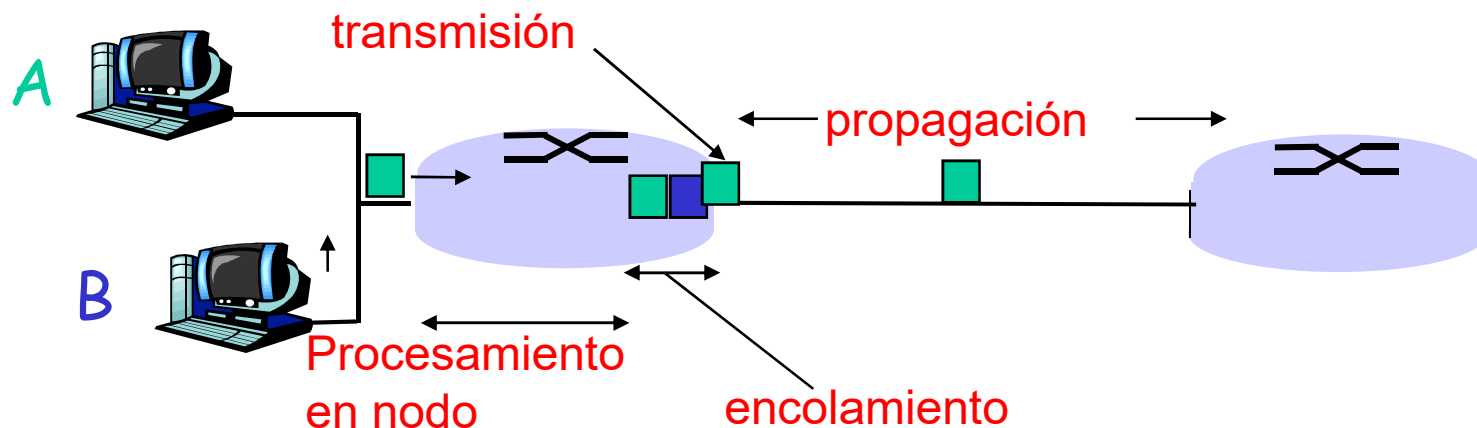
$$T_{\text{trans}} = L/R$$

- Del orden del μseg al mseg .

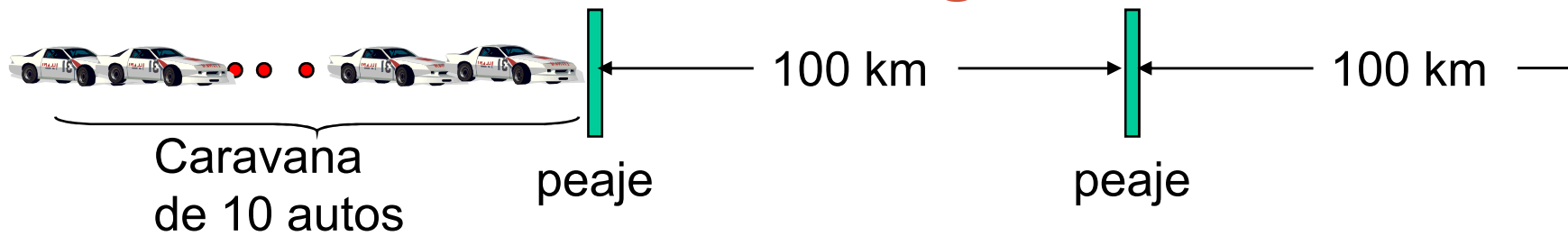
■ 4. Retardo de propagación:

- Tiempo necesario para que 1 bit se propague por el medio.
- d: distancia entre dos routers.
- s: velocidad de propagación del medio

$$T_{\text{prop}} = d/s$$



Caravana como analogía



- Autos se “propagan” a 100 km/hr
- Peaje demora 12 s para atender un auto (transmisión)

Auto → bit;

Caravana → paquete

- Para comenzar a pasar el peaje toda la caravana tiene que haber llegado.

- ¿En cuánto tiempo la caravana llega al 2do peaje?
- El tiempo que tarda la caravana en pasar el peaje es:

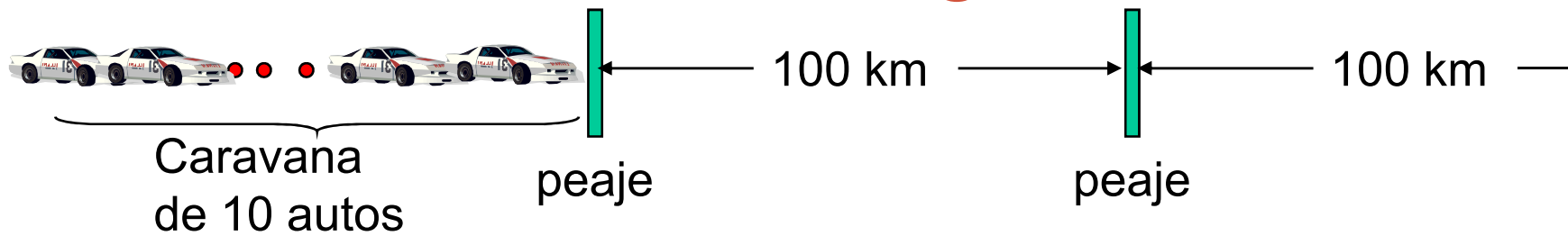
$$T_{\text{trans}} = 12\text{seg} * 10 = 120\text{seg}$$

- Tiempo de propagación del último auto hasta el 2do peaje:

$$T_{\text{prop}} = 100\text{km} / (100\text{km/h}) = 1 \text{ h}$$

$$T_{\text{trans}} + T_{\text{prop}} = 62 \text{ minutos}$$

Caravana como analogía



- Ahora los autos se “propagan” a 1000 km/h.
 - El peaje se demora 1 min en atender un auto.
 - Es decir que le toma 10 minutos atender a la caravana completa (Retardo de transmisión).
 - Cada auto tarda 6 minutos en desplazarse entre ambos peajes (Retardo de propagación).
- Los primeros autos llegan al 2^{do} peaje antes de que los últimos hayan salido del 1^{er} peaje.
 - Esta situación también se produce en las redes de conmutación de paquetes.
 - Esta situación es el caso común en Ethernet.

Retardo nodal

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

- d_{proc} = retardo de procesamiento
Típicamente unos pocos microsegundos o menos
- d_{cola} = retardo de espera en cola(s)
Depende de la congestión (tráfico en nodo)
- d_{trans} = retardo de transmisión
Significativo en enlaces de baja tasa (“bajo ancho de banda” o “baja velocidad”)
- d_{prop} = retardo de propagación
De pocos microsegundos a cientos de milisegundos

Retardo de cola

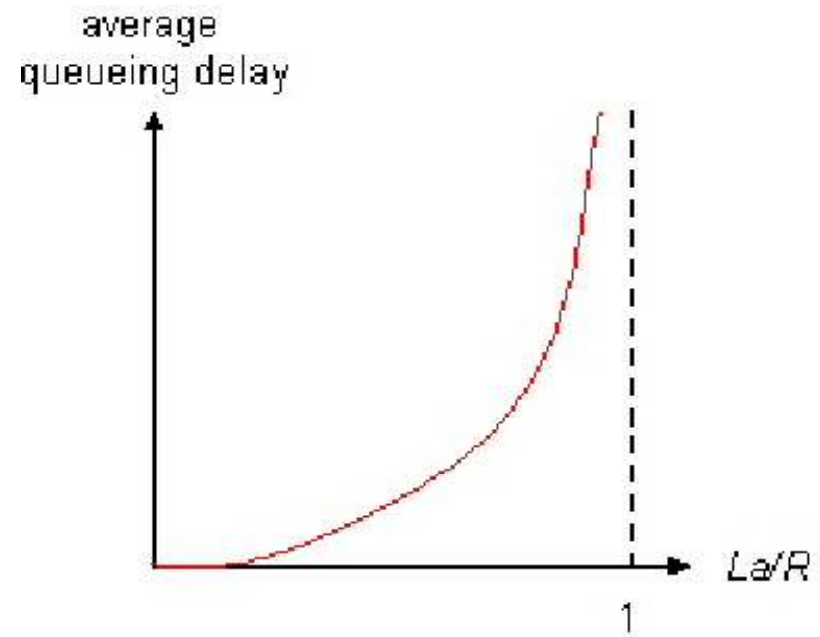
- Depende de:
 - Velocidad a la que llegan los paquetes a la cola.
 - Velocidad de transmisión del enlace.
 - La naturaleza del tráfico entrante (Si llega en forma periódica o en ráfagas)
- α : velocidad media a la que llegan los paquetes (paquetes/seg).
- R : velocidad de transmisión del enlace de salida (bps).
- L : longitud del paquete (se supone constante)
- Velocidad media a la que llegan los bits a la cola: $L * \alpha$
- Intensidad de tráfico: tasa llegada/tasa salida

➔ Intensidad de Tráfico = $L * \alpha / R$



Retardo de cola

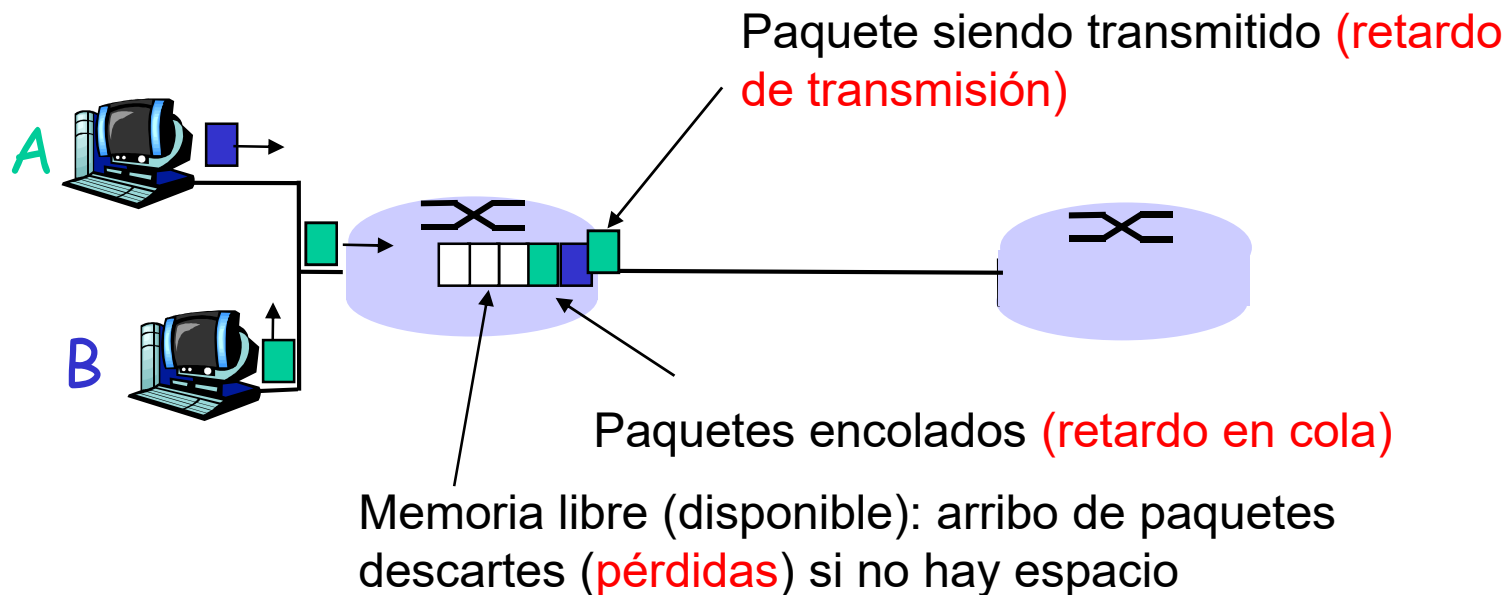
- $L*a/R \sim 0 \rightarrow$ pequeño retardo de encolamiento
- $L*a/R \rightarrow 1 \rightarrow$ retardo se hace grande
- $L*a/R > 1 \rightarrow$ velocidad media de llegada mayor a la velocidad de transmisión
 - retardo promedio tiende a infinito!



¿Cómo ocurren las pérdidas?

Los paquetes son *encolados* en la memoria de cada router

- Tasa de arribo de paquetes puede exceder la capacidad de salida del enlace
- Los paquetes son encolados, y esperan por su turno

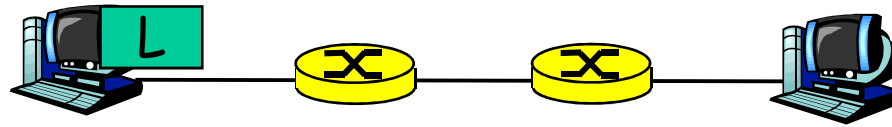


Pérdida de paquetes

- Buffer de encolamientos en conmutadoras tiene capacidad finita
- Cuando un paquete llega a una cola llena, el paquete es descartado (pérdida)
- Paquetes perdidos pueden ser retransmitidos por nodo previo (caso wi-fi) o por el computador fuente (caso TCP), o bien no retransmitidos nunca (caso Ethernet en capa enlace y también UDP capa transporte).

Conmutación de paquetes:

Almacenamiento y reenvío



- El paquete completo llega al router antes que éste pueda ser transmitido sobre el próximo enlace: *almacenamiento y reenvío*
- En cada tramo se demora L/R segundos en transmitir (enviar) paquetes de L bits por el enlace de R bps
- ES decir el Retardo total será $= 3L/R$

Ejemplo:

- $L = 7,5$ Mbits
- $R = 1,5$ Mbps
- retardo = 15 segundos
- **OJO:** No se ha considerado tiempos de propagación ni de procesamiento en el conmutador.

Conmutación de paquetes:

Re-envío

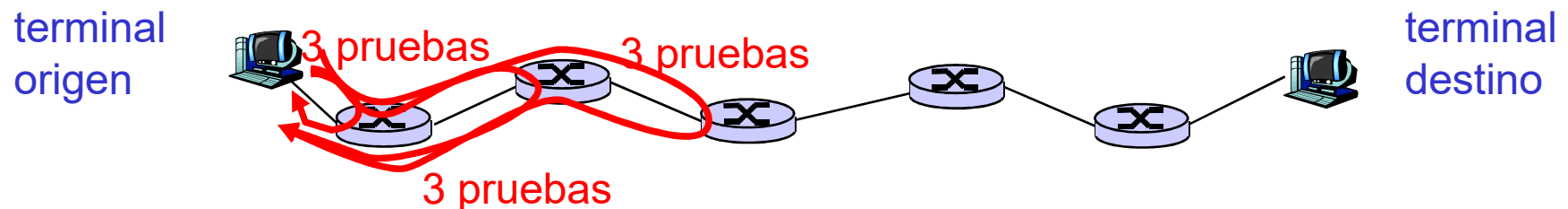
Objetivo: mover los paquetes a través de routers desde la fuente al destino

➔ Estudiaremos varios algoritmos para seleccionar la ruta (ruteo o enrutamiento)

- **Redes de datagramas** (Analogía: conducción preguntando instrucciones)
 - *Dirección de destino* en paquete determina próximo tramo
 - Las rutas pueden cambiar durante la sesión
- **Redes de circuitos virtuales** (Analogía: Maratón con trazado definido)
 - Cada paquete lleva un rótulo (identificador del circuito, virtual circuit ID), el rótulo determina el próximo tramo
 - Camino fijo determinado *cuando se establece la llamada*, permanece fijo durante la llamada.
 - *En este caso routers mantienen estado por cada llamada (=> mayor uso de memoria)*

Retardo “Real” en Internet y rutas

- ¿Cuáles son los retardos reales en Internet y las rutas de los paquetes?
- **Programa traceroute:** entrega medidas del retardo de ida y vuelta desde el terminal de origen hacia cada router en la ruta al destino en Internet.
(en windows tracert como en trace route)
- Para cada router i :
 - manda tres paquetes que van a llegar al router i en la ruta hacia el destino
 - router i le devuelve paquetes de información al terminal origen
 - terminal de origen mide el intervalo entre transmisión y respuesta.



Retardo “Real” en Internet y rutas

En windows usar > tracert www.eurocom.fr

▪ Probar: traceroute www.eurocom.fr

agustin@pcagv:~\$ traceroute www.google.cl

traceroute to www.google.cl (64.233.163.104), 30 hops max, 60 byte packets

```
1  elo-gw.elo.utfsm.cl (200.1.17.1) 0.479 ms 0.938 ms 1.123 ms
2  telmex-gw.usm.cl (200.1.20.131) 2.286 ms 2.355 ms 2.343 ms
3  border-gw.usm.cl (200.1.20.130) 2.302 ms 2.331 ms 2.319 ms
4  ge-1-1-0.452.ar1.SCL1.gblx.net (208.178.62.9) 5.300 ms 5.357 ms 5.476 ms
5  te4-3-10G.ar3.SCL1.gblx.net (67.16.130.78) 5.319 ms 7.266 ms 7.404 ms
6  72.14.216.105 (72.14.216.105) 7.308 ms 5.997 ms 5.942 ms
7  209.85.240.138 (209.85.240.138) 5.989 ms 5.120 ms 6.961 ms
8  72.14.238.48 (72.14.238.48) 53.155 ms 72.14.233.134 (72.14.233.134)
   51.959 ms 51.948 ms
9  72.14.233.91 (72.14.233.91) 52.973 ms 72.14.233.95 (72.14.233.95)
   51.146 ms 52.047 ms
10 64.233.175.62 (64.233.175.62) 55.207 ms 55.211 ms 56.045 ms
11 bs-in-f104.1e100.net (64.233.163.104) 51.918 ms 51.869 ms 54.939 ms
```



Tasa de Transferencia

*Otra medida crítica de rendimiento de las redes de computadoras es la **Tasa de transferencia** terminal a terminal*

- Instantánea: tasa en un instante de tiempo dado.
- Promedio: tasa sobre largos periodos
- Cuello de botella: enlace que limita la tasa de transferencia terminal a terminal.

