

Tema1: Redes de ordenadores e Internet

Stallings: 1.1, 1.4, 1.5, 1.6, 2.1, 2.2, 2.3 pag. 40-44,
2.4 pag.48-49, 2.5.

Tanenbaum: 1.1, 1.2, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.4, 1.5.1

Índice

- **Introducción y prestaciones. Internet**
 - Fundamentos: componentes, conceptos, medios, protocolos y servicios
 - Estructura de Internet
 - Redes de acceso
- **Núcleo de la red**
 - Conmutación de paquetes
 - Encaminamiento
 - Organización de la red
- **Prestaciones en redes de comunicación**
 - Retardos, pérdidas y caudales
- **Arquitectura de red**
 - Modelos de capas. Arquitectura Internet TCP/IP

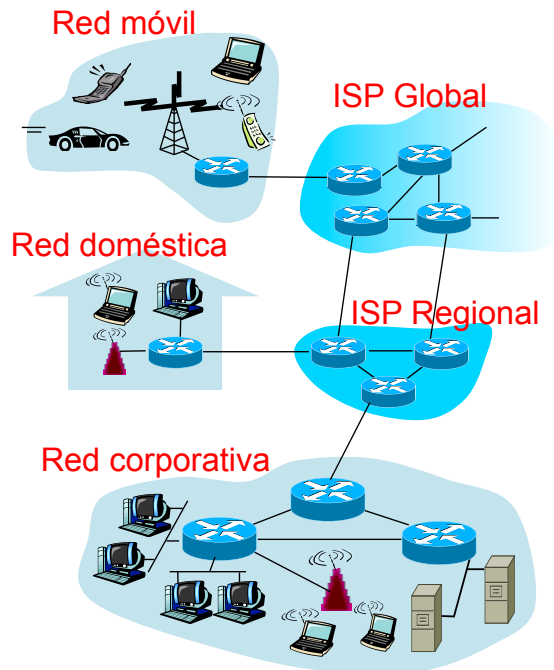
Índice

- **Introducción y prestaciones. Internet**
 - Fundamentos: componentes, conceptos, medios, protocolos y servicios
 - Estructura de Internet
 - Redes de acceso
- **Núcleo de la red**
 - Conmutación de paquetes
 - Encaminamiento
 - Organización de la red
- **Prestaciones**
 - Retardos, pérdidas y caudales
- **Arquitectura de red**
 - Modelos de capas. Arquitecturas Internet y OSI

Internet: componentes

¿Qué es Internet?

- ✓ Red de comunicaciones formada por cientos de millones de **dispositivos** denominados **sistemas finales** ("hosts")
 - Ej.: ordenadores, teléfonos móviles, televisores, consolas, sensores, etc.
- ✓ conectados entre sí mediante **enlaces** de comunicaciones y **conmutadores de paquetes** (routers/switches).
- ✓ Los **enlaces de comunicaciones** utilizan diferentes **medios físicos** a través de los cuales los datos se transmiten en la red.
 - Ej. de medios físicos: hilo de cobre, fibra óptica, ondas de radio
- ✓ Los **usuarios** contratan el uso de Internet a **ISPs** (**Internet Service Providers**)

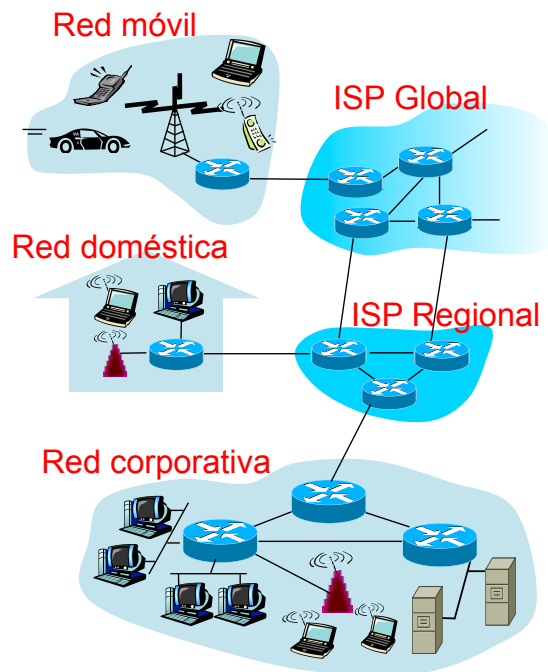


Internet: conceptos

- Los datos se transmiten a través de los distintos enlaces a distinta **velocidad**.
 - Depende del **medio físico** utilizado y se mide en bits/segundo (bps)
- Esa velocidad se denomina **Caudal** del enlace y está limitado por la **Capacidad** o **Caudal máximo** del enlace.
El **Caudal eficaz** es el cociente entre cantidad de datos y el tiempo transcurrido hasta que llegan al destino.
- Los datos viajan en unidades denominadas **paquetes**.
 - El emisor segmenta los datos y añade bits de cabecera a cada segmento, formando los paquetes que se envían a través de la red
 - Cuando los paquetes llegan al receptor, vuelven a ser ensamblados para obtener los datos originales
 - Su tamaño depende de si es una: petición, respuesta, descarga, ...)
 - Tienen un tamaño máximo establecido, típicamente 1.500 octetos.

Internet: conceptos (cont.)

- Un **router**:
 - toma los paquetes que llegan por sus enlaces de entrada y los reenvía por sus enlaces de salida
 - **Encamina** los paquetes hacia su destino final
- **Ruta** que sigue un paquete:
 - **Secuencia de enlaces de comunicaciones y routers** desde un SF emisor hasta un SF receptor



Medios físicos

Los datos se transmiten a través de los distintos enlaces a distinta velocidad. Los enlaces (entre routers o entre SF y routers) utilizan “medios físicos” que pueden ser:

- Guiados: Cables de cobre o fibra.
- No Guiados: Radio.

El **par trenzado** es un ejemplo de cable formado por pares hilos de cobre aislados:

- Categoría 3: es el cable tradicional de los cables telefónicos, 10 Mbps Ethernet.
- Categoría 5: 100Mbps/1Gbps Ethernet.



Cable coaxial:

- Dos conductores de cobre concéntricos (e.g., 0,1's-1's Gbps)

Cable de fibra óptica:

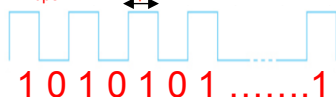
- Fibra de vidrio que transporta pulsos de luz.
- Es un medio que opera a alta velocidad (e.g., 10's-100's Gbps)
- Baja tasa de error e inmune al ruido electromagnético

Medios físicos

Velocidad de transmisión.
(Caudal/Tasa binaria/Bandwidth)

R (bps)

Si $R = 1\text{Mbps} \rightarrow T = 1\mu\text{s} = 1/R$



Longitud del medio.

L (km)

Puede afectar mucho a las prestaciones.
La velocidad de propagación de la señal en el medio es de 200000 km/s
(retardo $\approx 5\ \mu\text{s/km}$)

Tasa de Error de Bit.
BER

Si $\text{BER} = 10^{-5}$,
habrá "en media"
1 bit erróneo cada
100.000 bits

Ejercicio 1: Se desea transmitir un paquete de 1500 Bytes entre un SF y un router conectados por un cable submarino de 3000km de longitud por el que se transmite a 2Mbps y que tiene una tasa de error de 10^{-5} .

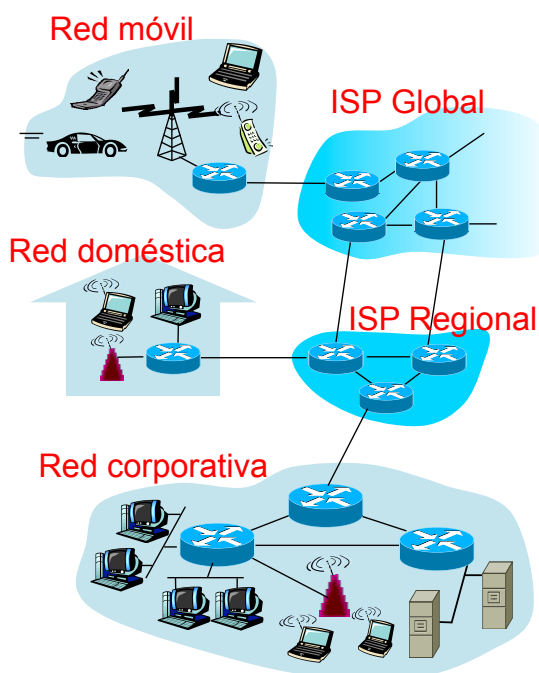


Calcular:

1. El tiempo que tarda el SF en transmitir el paquete.
2. El tiempo que tarda en llegar todo el paquete al Router.
3. La probabilidad de que el paquete llegue con errores.
4. Repetir 1 y 2 con un enlace por satélite en órbita geoestacionaria a 36.000 Km.
5. Repetir 3 con $\text{BER} = 10^{-4}$. ¿Qué podemos hacer?

Protocolos y estándares

- **Protocolo:** conjunto de reglas que gobierna el envío y recepción de mensajes
 - Ej.: HTTP, SMTP, IP, TCP, UDP
 - "Familia" TCP/IP
- **Estándares de Internet:**
 - RFC: Request for Comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force

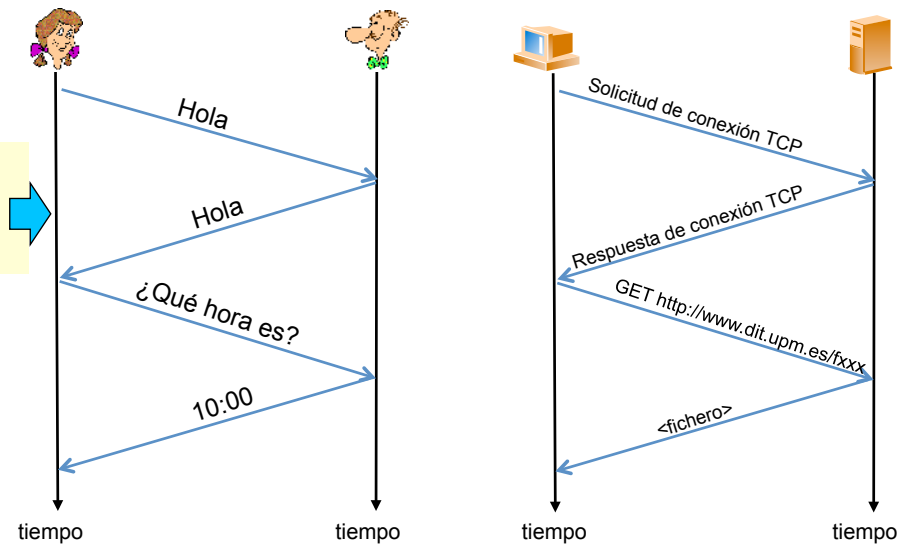


Ejemplo de protocolo humano y protocolo de red

Protocolo: conjunto de reglas que gobierna el envío y recepción de mensajes/paquetes

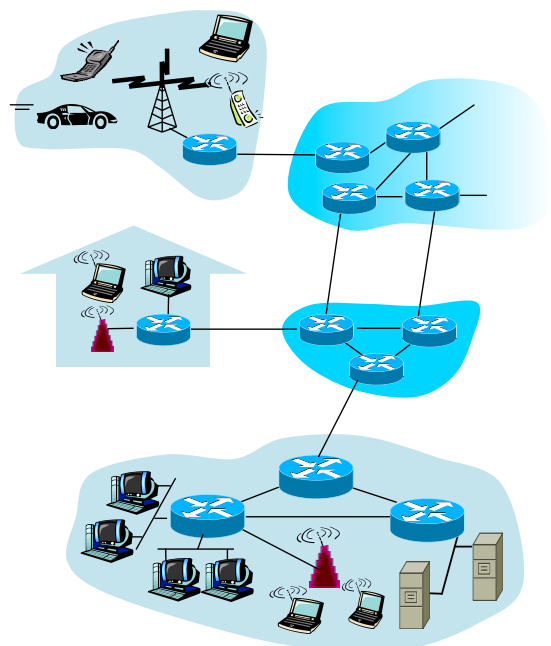
Protocolos de Internet:
Ej.: HTTP, SMTP, IP,
TCP, UDP,....
"Familia" TCP/IP

Comparación de un protocolo humano y un protocolo de red



Internet de los servicios

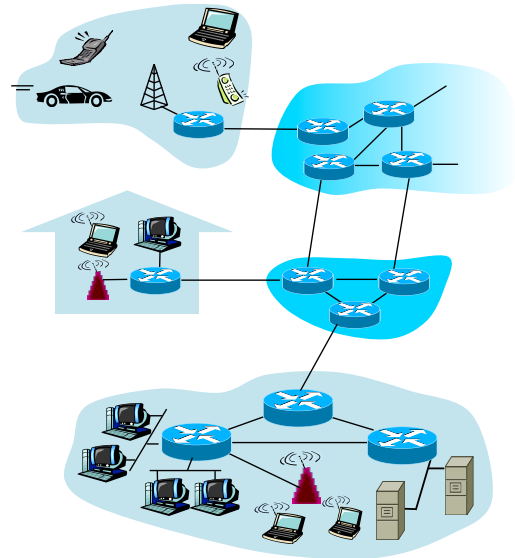
- Internet es una **infraestructura** que ofrece un servicio básico de transferencia de paquetes a las aplicaciones
 - Permite la creación de servicios avanzados
- **Aplicaciones distribuidas** = programas que utilizan la infraestructura
 - Aplicaciones de red
 - Se ejecutan en los sistemas finales



Ejemplos de aplicaciones
correo-e, navegación web, VoIP,
IPTV, juegos en red, P2P,
videoconferencia, etc.

Estructura de Internet

- **Periferia (o frontera) de la red:**
 - aplicaciones y sistemas finales (SF)
- **Redes de acceso:**
 - conectan a los usuarios con los proveedores de servicios
- **Núcleo de la red:**
 - routers
 - red de redes

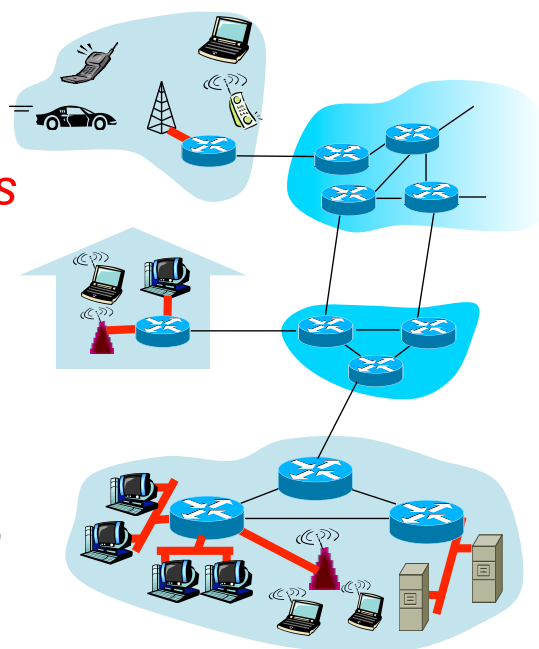


Redes de acceso

¿Cómo conectar los sistemas finales a los routers de los proveedores de servicios?

Redes de acceso:

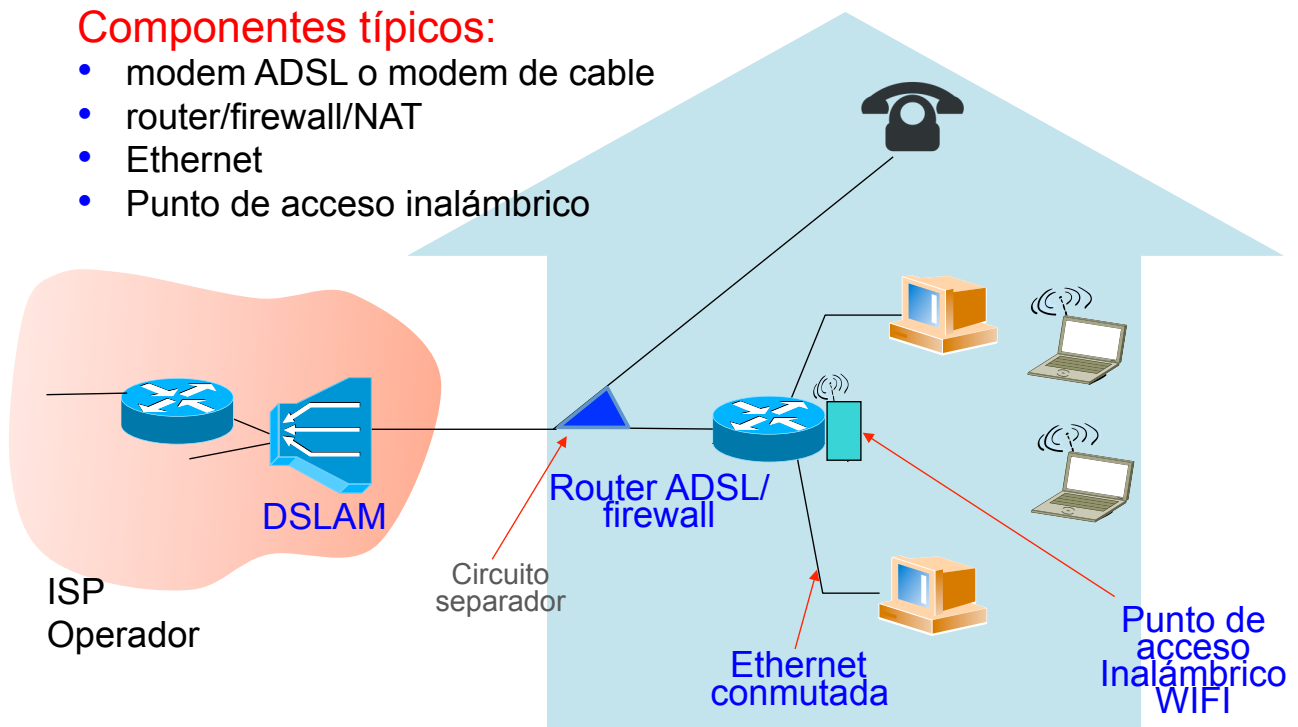
- Redes residenciales
- Redes corporativas (empresa, universidad, ...)
- Redes inalámbricas (Wifi, Wimax)



Acceso residencial: redes en casa

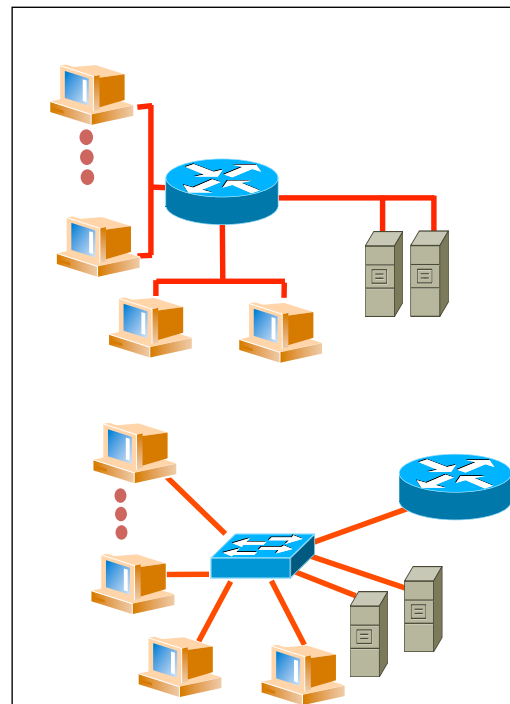
Componentes típicos:

- modem ADSL o modem de cable
- router/firewall/NAT
- Ethernet
- Punto de acceso inalámbrico



Acceso de organizaciones: redes de área local

- **Las redes de área local (LAN)** permiten la interconexión entre sí de sistemas finales en una organización y la conexión al primer router en el camino
- **LAN Ethernet**
 - medio guiado compartido y dedicado
 - 10 Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10 Gbps
- **LAN inalámbrica WIFI**
 - medio radio difusivo compartido y dedicado
 - 54 Mbps, 200Mbps, 600Mbps



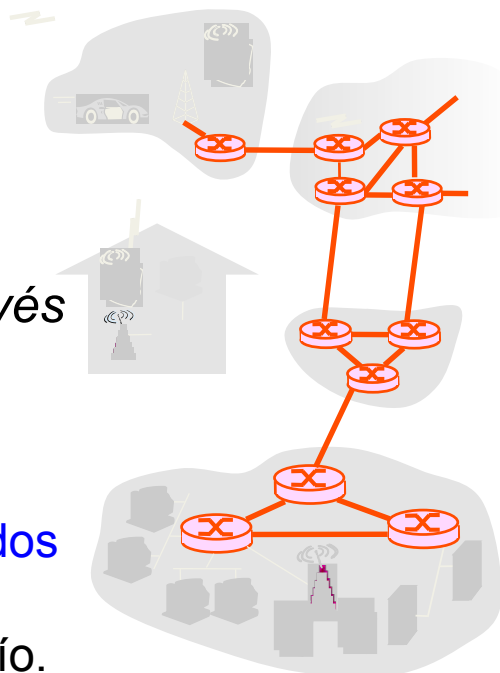
Índice

- Introducción y prestaciones. Internet
 - Fundamentos: componentes, conceptos, medios, protocolos y servicios
 - Estructura de Internet
 - Redes de acceso
- Núcleo de la red
 - Conmutación de paquetes
 - Encaminamiento
 - Organización de la red
- Prestaciones
 - Retardos, pérdidas y caudales
- Arquitectura de red
 - Modelos de capas. Arquitectura Internet TCP/IP

El núcleo de la red

- Malla de **conmutadores de paquetes (routers)** interconectados
- *¿Cómo se realiza la transferencia de datos a través de la red?*

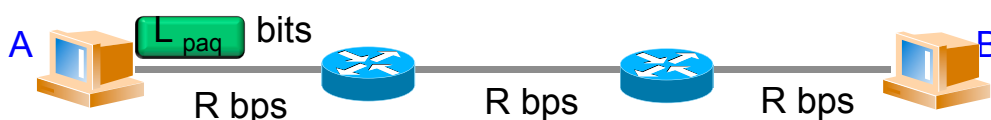
➔ **conmutación de paquetes**
se envían paquetes de datos a través de los **nodos** de la red, mediante almacenamiento y reenvío.



Conmutación de paquetes

- El emisor divide los mensajes en **paquetes**
- Los paquetes viajan a través de los **enlaces** de comunicaciones y de los **conmutadores** (nodos de la red)
 - Comparten los recursos existentes
 - Cada paquete utiliza toda la capacidad del enlace
- Los conmutadores emplean el método de **almacenamiento y reenvío**
 - El conmutador recibe el **paquete completo** antes de pasarlo al enlace de salida

Conmutación de paquetes: almacenamiento y reenvío



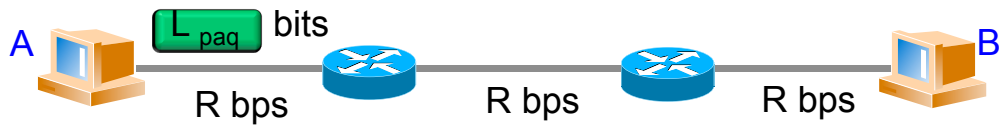
- Se tarda $d_{trans} = L_{paq}/R$ segundos en entregar un paquete de L_{paq} bits a un enlace de velocidad R bps
- Se tarda $d_{enlace} = d_{trans} + d_{prop}$ segundos en entregar al router un paquete de L_{paq} bits. (d_{prop} es el retardo de propagación)
- Se tarda d_{cruce} segundos en cruzar un router. (d_{cruce} es el retardo de cruce)
- **Almacenamiento y reenvío:** todos los bits del paquete deben llegar al router antes de ser reenviado por el siguiente enlace
- Si hay Q enlaces se acumula un retardo total de origen a destino

$$d_{\text{externo a extremo}} = d_{\text{enlace 1}} + d_{\text{enlace 2}} + d_{\text{enlace 3}}$$

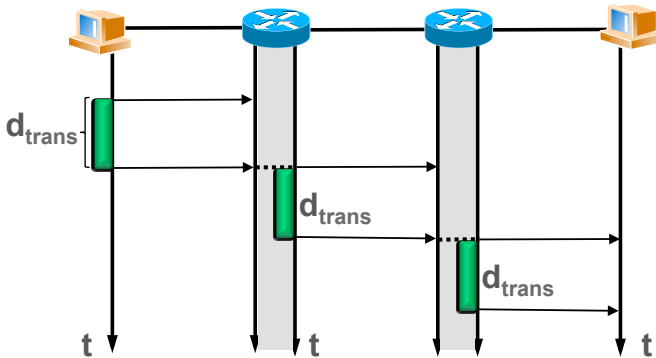
$$\text{Retardo mínimo} = Q \cdot L_{paq} / R$$

(supuesto misma R y d_{prop} d_{cruce} despreciables)

Conmutación de paquetes: almacenamiento y reenvío



Cronograma:



Ejemplo:

(supuesto d_{prop} d_{cruce} despreciables)

$$L_{paq} = 3.000 \text{ bits}$$

$$R = 1,5 \text{ Mbps}$$

Tiempo que tarda en llegar el paquete de A a B = $3 \times 2 = 6 \text{ ms}$.

Encaminamiento

¿Cómo se determina la ruta que debe seguir un paquete hasta alcanzar su destino?

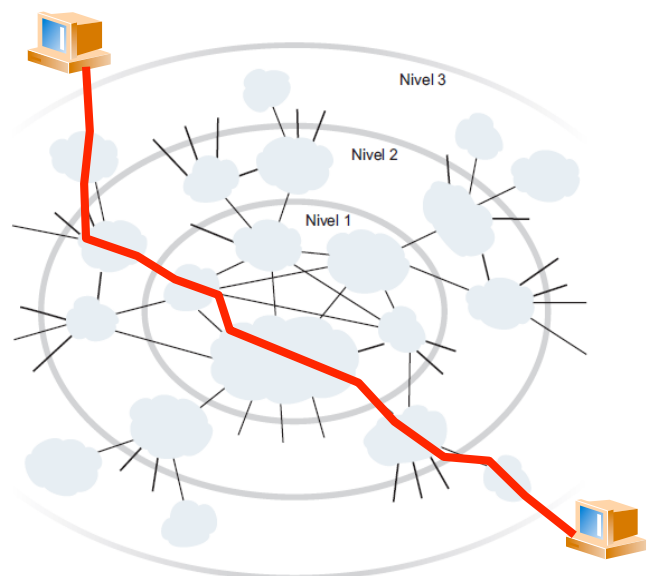
- Cada paquete lleva una cabecera con la **dirección destino**
- Cuando un router recibe un paquete, realiza el proceso de **reenvío** (“forwarding”):
 - Examina la dirección destino
 - Busca en una “**tabla de encaminamiento**” el enlace de salida adecuado
 - Reenvía el paquete por ese enlace de salida al router vecino
- Los **protocolos de encaminamiento** determinan las rutas más cortas y configuran las tablas de encaminamiento de los routers.

Proveedores de servicios de Internet

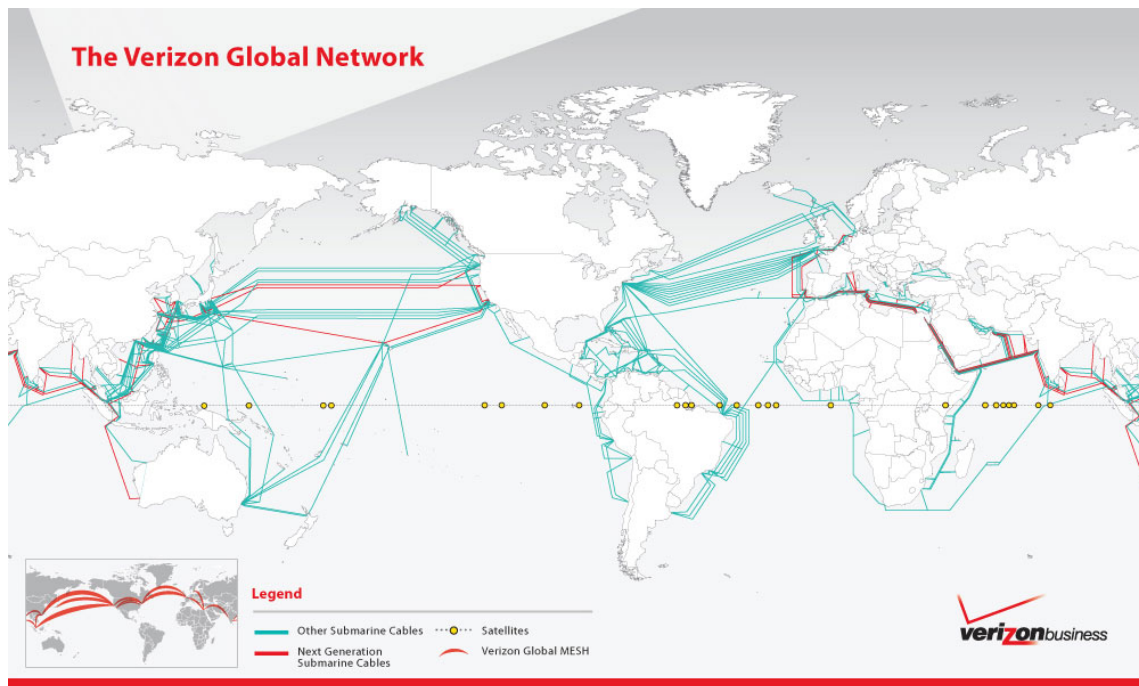
- Los sistemas finales acceden a Internet a través de los **ISP**
 - *Internet Service Providers*
- Cada ISP es una red de routers y enlaces
 - Proporcionan **conectividad**
 - Ofrecen diferentes tipos de accesos y servicios (ej.: ADSL, cable, inalámbrico, contenidos, ...)
- Pueden ser de ámbito local, regional, nacional o internacional

Organización de Internet: red de redes

- Jerarquía de proveedores ISPs
- En el centro: **ISPs de nivel 1 (Tier 1)**
 - Se denominan **redes troncales de Internet** (“Internet backbones”)
AOL, AT&T, GC, Verizon, Level 3, Tata, NTT, CenturyLink, Cogent, Sprint, Deutsche Telekom, TeliaSonera, Telefónica Global Solutions ...
 - Conectadas entre sí



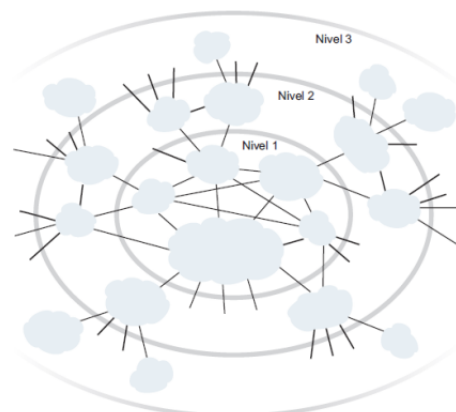
Ejemplo de ISP de nivel 1



<http://www.verizonbusiness.com/us/about/network/>

Organización de Internet

- Los ISPs de nivel 2 (Tier 2) tienen cobertura regional o nacional
 - “Clientes” de ISPs de nivel 1
 - Encaminan el tráfico a través de ISPs de nivel 1
- Por debajo del nivel 2 están los ISPs locales
 - Red del “último salto” (*last hop network*)

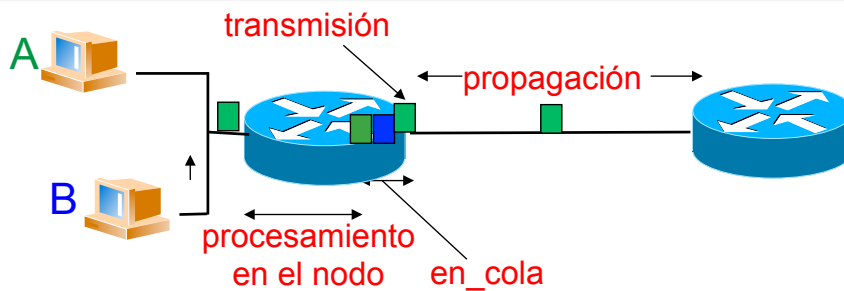


- Introducción y prestaciones. Internet
 - Fundamentos: componentes, conceptos, medios, protocolos y servicios
 - Estructura de Internet
 - Redes de acceso
- Núcleo de la red
 - Conmutación de paquetes
 - Encaminamiento
 - Organización de la red
- Prestaciones en redes de comunicación
 - Retardos, pérdidas y caudales
- Arquitectura de red
 - Modelos de capas. Arquitectura Internet TCP/IP

Prestaciones: retardos

- En la ruta desde un sistema final SF origen a uno destino, un paquete sufre varios tipos de **retardos** en cada uno de los routers y enlaces que atraviesa
- **Retardo total** nodal (router + enlace) es la suma:
 - Retardos del router
 - Retardo de procesamiento en el router, d_{proc}
 - Retardo de espera en cola, d_{cola}
 - Retardos del enlace
 - Retardo de transmisión, d_{trans}
 - Retardo de propagación, d_{prop}

Cuatro causas del retardo de los paquetes



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

d_{proc} : de procesamiento ($\sim \mu\text{seg}$)

- comprobación cabecera del paquete
- determinación del enlace de salida

d_{trans} : de transmisión

$$= L_{\text{paq}} / R$$

L_{paq} : longitud del paquete (bits)

R : capacidad del enlace (bits/seg)

d_{cola} : de espera en cola (variable)

- espera a la salida para transmisión
- depende del nivel de congestión

d_{prop} : de propagación

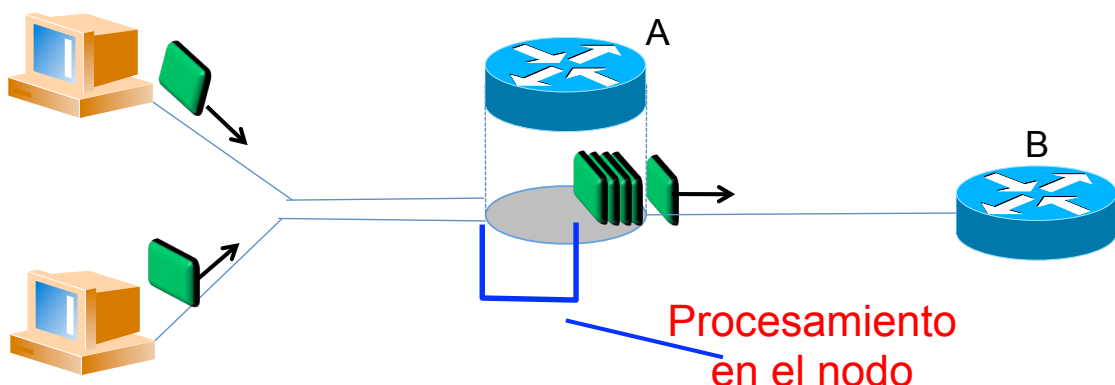
$$= L / s$$

L : longitud del enlace físico (m);

s : velocidad de propagación en el medio ($2..3 \times 10^8$ m/seg)

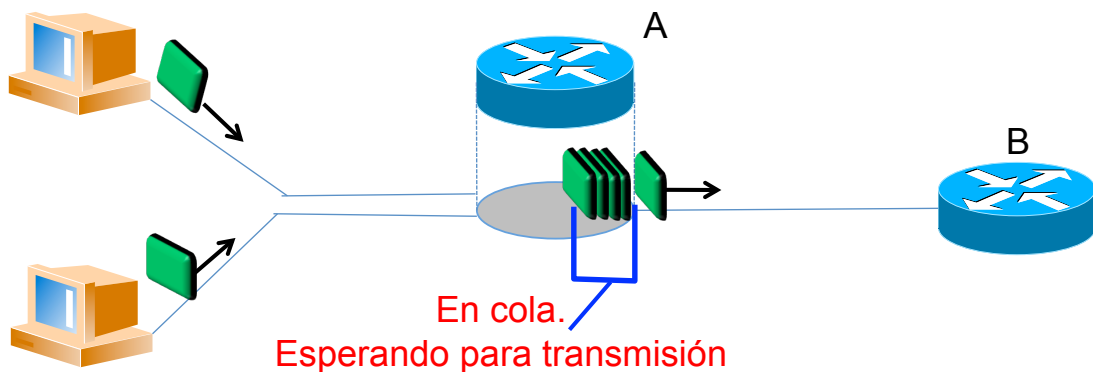
Retardo de procesamiento (d_{proc})

- Tiempo requerido por el router para examinar la **cabecera del paquete** y determinar el **enlace de salida** por donde hay que enviarlo
 - Del orden de microsegundos



Retardo de espera en cola (d_{cola})

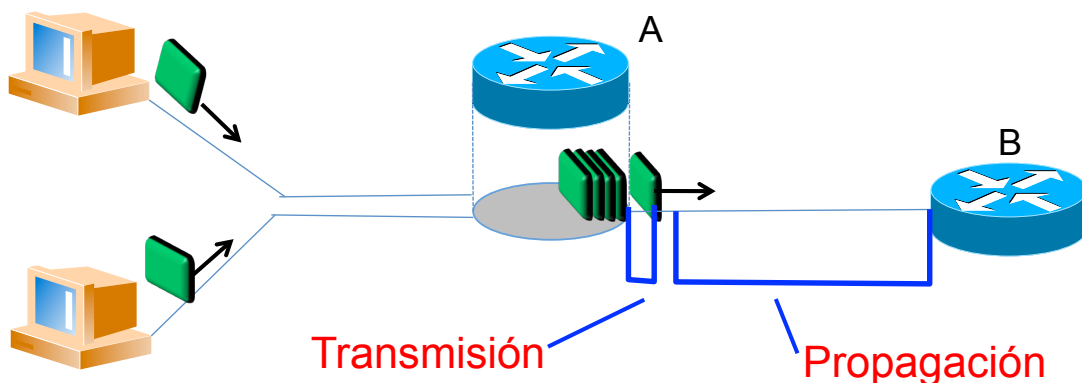
- Tiempo de espera del paquete en la **cola de transmisión** (de salida) del router antes de ser transmitido
 - Depende del número de paquetes que hayan llegado antes a la cola
 - Si la cola está vacía el paquete se transmite inmediatamente y el retardo es cero



Retardo de transmisión (d_{trans})

- Tiempo necesario para **transmitir todos los bits** del paquete desde el nodo al enlace

$$d_{trans} = L_{paq} / R \text{ segundos}$$



Retardo de propagación (d_{prop})

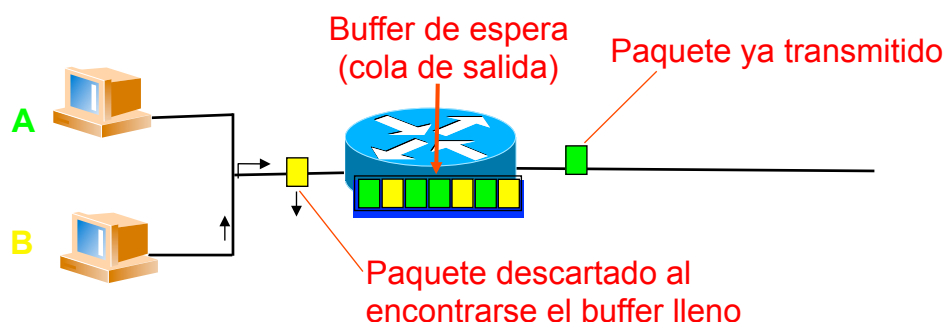
- Tiempo necesario para que **un bit se propague a través de un mismo enlace**, desde el principio del enlace hasta el final.
 - El bit se propaga a la **velocidad de propagación del enlace**, velocidad que depende del medio físico
 - Entre $2 \cdot 10^8$ metros/segundo y $3 \cdot 10^8$ metros/segundo

$$d_{prop} = L / s \text{ segundos}$$

- **L** es la longitud del enlace en metros (distancia entre los router A y B)
- **s** es la velocidad de propagación en el medio en m/s

Pérdida de paquetes

- La capacidad de la cola es limitada
- Si llega un paquete y la cola está llena, el router elimina el paquete
 - El paquete se pierde
 - En ciertos casos, el sistema final origen retransmite
- El número de paquetes perdidos aumenta cuando la intensidad de tráfico aumenta

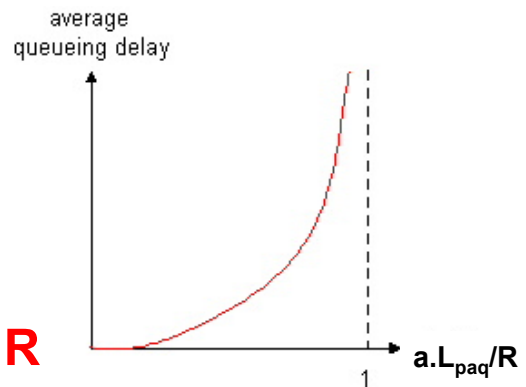


Espera en colas

R = velocidad del enlace (bps)

L_{paq} = longitud de un paquete (bits)

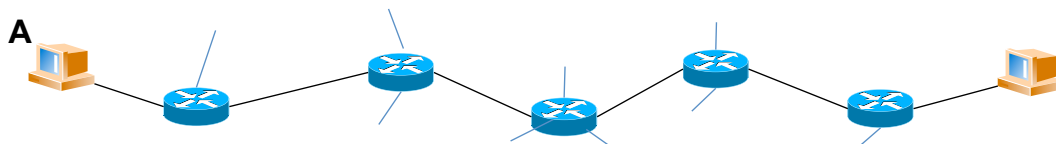
a = velocidad media a la que llegan los paquetes a la cola (paquetes/segundo)



Intensidad de tráfico = $a \cdot L_{\text{paq}} / R$

- $a \cdot L_{\text{paq}} / R \sim 0$: tiempo de espera 0 o muy pequeño (**carga ligera**)
- $a \cdot L_{\text{paq}} / R \rightarrow 1$: tiempo de espera significativo, incrementándose cada vez más conforme se acerca a 1 (**bastante carga**)
- $a \cdot L_{\text{paq}} / R > 1$: la velocidad media de llegada excede la velocidad a la que los bits pueden ser transmitidos (**congestión**)

Retardo extremos a extremo

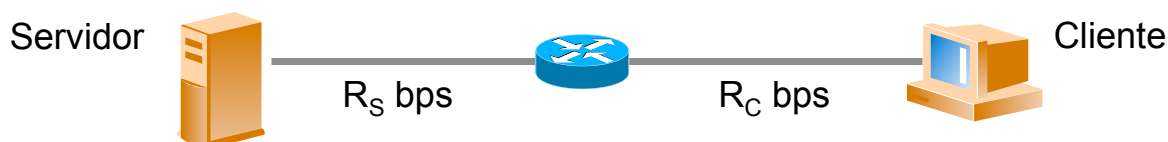


- **Retardo total** entre origen y destino
- Si hay $N-1$ routers entre A y B
 - y suponiendo que se envía un paquete de tamaño L_{paq} , que la red no está congestionada ($d_{\text{cola}} \approx 0$), el retardo de proceso d_{proc} es igual para todos los routers y los enlaces tienen todos la misma capacidad R :

$$d_{A-B} = N * (d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}})$$

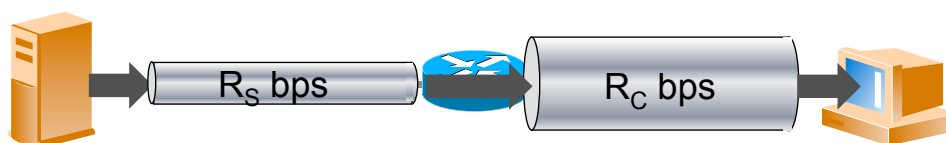
Caudal eficaz

- Caudal eficaz $C_{ef} =$ Tasa a la que se transmiten los bits entre un emisor y un receptor (*throughput*)
 - $C_{ef} =$ bits transmitidos / tiempo total (bits/segundo)
 - Extremo a extremo, medida de dos formas:
 - Instantáneo: en un cierto instante de tiempo
 - Tasa media: durante un periodo largo

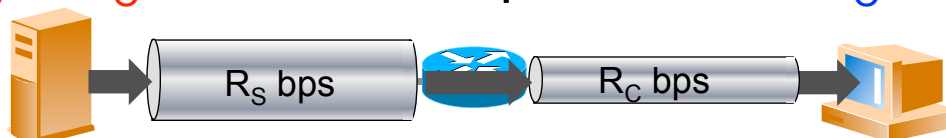


Caudal eficaz (cont.)

$R_S < R_C$, el caudal no podrá ser $> R_S$



$R_S > R_C$, el caudal no podrá ser $> R_C$



- El caudal eficaz se aproxima a $\min\{R_S, R_C\}$
 - ✓ ... es decir, a la capacidad del enlace que hace de **cuello de botella**

Ejemplo

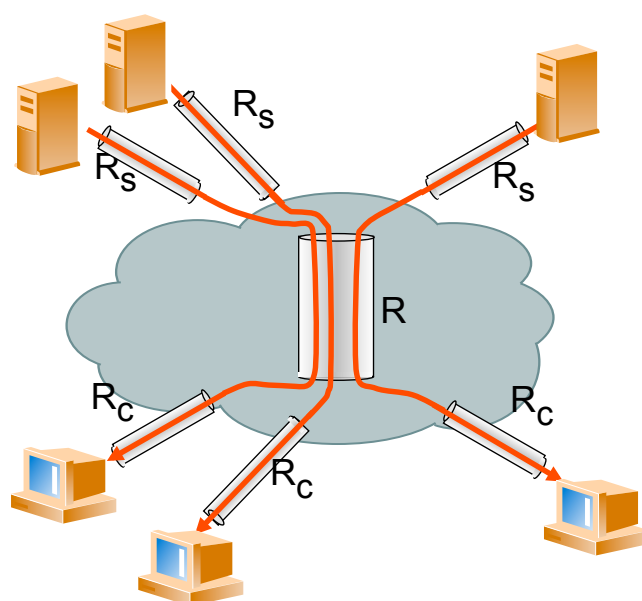


Suponga que en la red de la figura, el cliente está descargando un archivo MP3 de $L = 32$ millones de bits, el enlace entre el servidor y el router tiene una capacidad $R_s = 2$ Mbps y entre el cliente y el router $R_c = 1$ Mbps. Suponiendo que no hay más tráfico en los enlaces y sin tener en cuenta otros posibles retardos en la red, ¿cuál será, como mínimo, el tiempo T necesario para transferir el archivo?

$$T = L_{\text{paq}} / \min\{R_s, R_c\} = 32 \text{ segundos}$$

Caudal eficaz (cont.)

- El caudal eficaz depende de:
 - las capacidades de los enlaces
 - Se aproxima a la capacidad mínima existente a lo largo de la ruta entre origen y destino
 - El tráfico existente
 - Los protocolos



10 conexiones comparten un enlace cuello de botella de R bps

Índice

- Introducción y prestaciones. Internet
 - Fundamentos: componentes, conceptos, medios, protocolos y servicios
 - Estructura de Internet
 - Redes de acceso
- Núcleo de la red
 - Conmutación de paquetes
 - Encaminamiento
 - Organización de la red
- Prestaciones en redes de comunicación
 - Retardos, pérdidas y caudales
- Arquitectura de red
 - Modelos de capas. Arquitectura Internet TCP/IP

Arquitectura de red

- Estructura jerarquizada de módulos que realizan todas las tareas involucradas en el intercambio de información
 - Proporciona una **forma estructurada** de estudiar los componentes del sistema
- Modelo de protocolos por niveles o capas
 - Cada **protocolo** pertenece a un nivel
 - Cada nivel ofrece unos **servicios** al nivel superior
- **Pila de protocolos**
 - Protocolos de las distintas capas tomados en conjunto

Protocolos de Internet (TCP/IP)

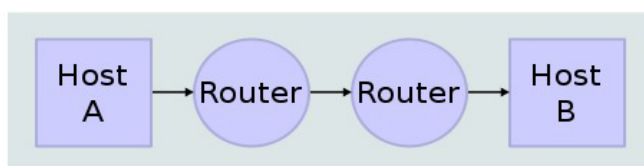
- **Aplicación:** donde residen los programas de aplicación
 - FTP, SMTP, HTTP, ...
- **Transporte:** se ocupa de la transferencia entre procesos de aplicación
 - TCP, UDP
- **Red:** transferencia de datagramas entre SF origen y SF destino en la red o en la red de redes
- **Enlace:** transferencia de datos entre nodos vecinos sobre un medio físico
 - Ethernet, WiFi, PPP
- **Físico:** transferencia de bits individuales de un nodo al siguiente usando un medio físico



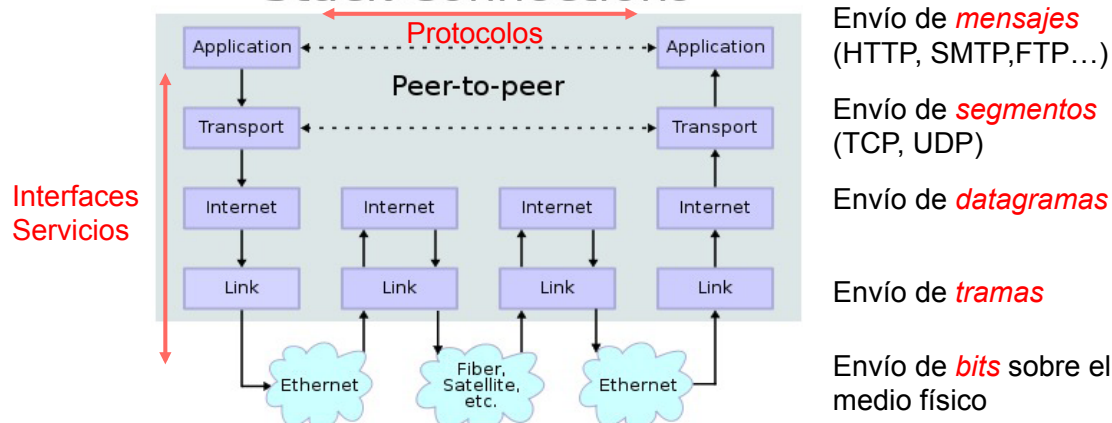
Existen diversas interpretaciones del modelo de capas de TCP/IP:
http://en.wikipedia.org/wiki/TCP/IP_model#Layer_names_and_number_of_layers_in_the_literature

Pila de protocolos en TCP/IP

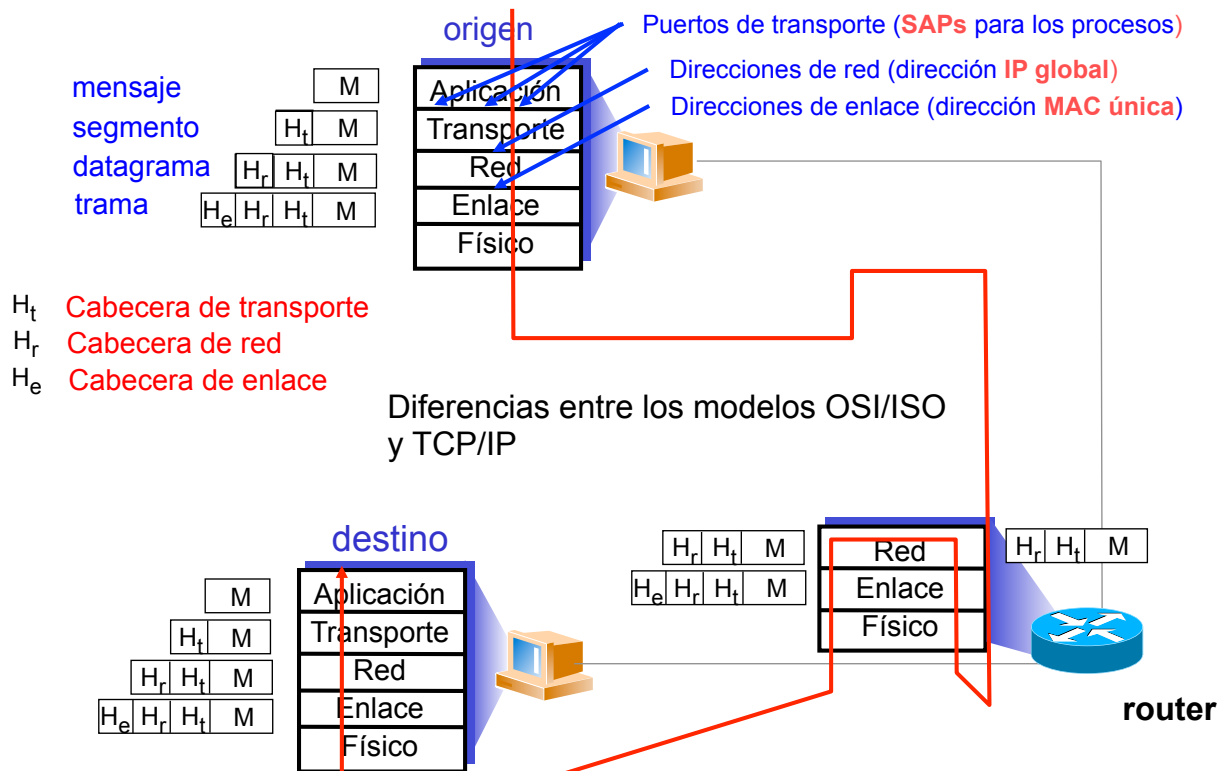
Network Connections



Stack Connections



Encapsulado



Modelo de referencia OSI/ISO

- **Modelo OSI** (Open Systems Interconnection)
 - Estandarizado por ISO (International Organization for Standardization) en 1984
- Existen diferencias con el modelo TCP/IP



Capas del modelo

http://en.wikipedia.org/wiki/TCP/IP_model#OSI_and_TCP.2FIP_layering_differences

Diferencias entre modelos OSI/ISO y TCP/IP

Modelo OSI	Modelo TCP/IP
Aplicación	Aplicación
Presentación	
Sesión	
Transporte	Transporte
Red	Internet
Enlace	Red de acceso
Físico	Físico