

# Redes de Computadores

Grado en Ingeniería Informática



# Contenido de la asignatura

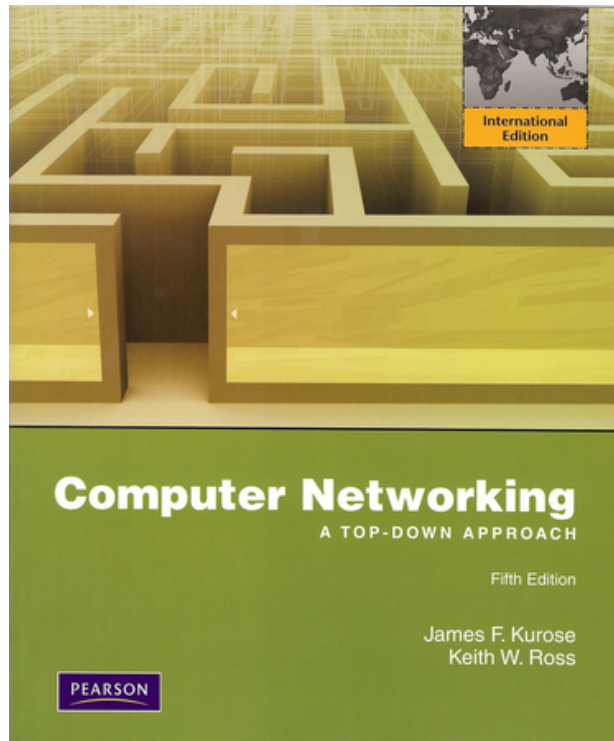
Tema 1: Redes de Computadores e Internet

Tema 2: Capa de Aplicación

Tema 3: Capa de Transporte

Tema 4: Capa de Red

Tema 5: Capa de Enlace de Datos



Estas transparencias han sido elaboradas a partir de material con copyright que Pearson pone a disposición del profesorado, a partir del libro:

[Jim Kurose, Keith Ross \(2010\). Computer Networking: A Top Down Approach, 5th edition, Ed. Pearson.](#)

Algunas actualizaciones pertenecen a la última edición:

[Jim Kurose, Keith Ross \(2017\). Redes de Computadoras: Un enfoque descendente, 7ª edición, Ed. Pearson.](#)

# Redes de Computadores

## Tema 1

Redes de Computadores e Internet



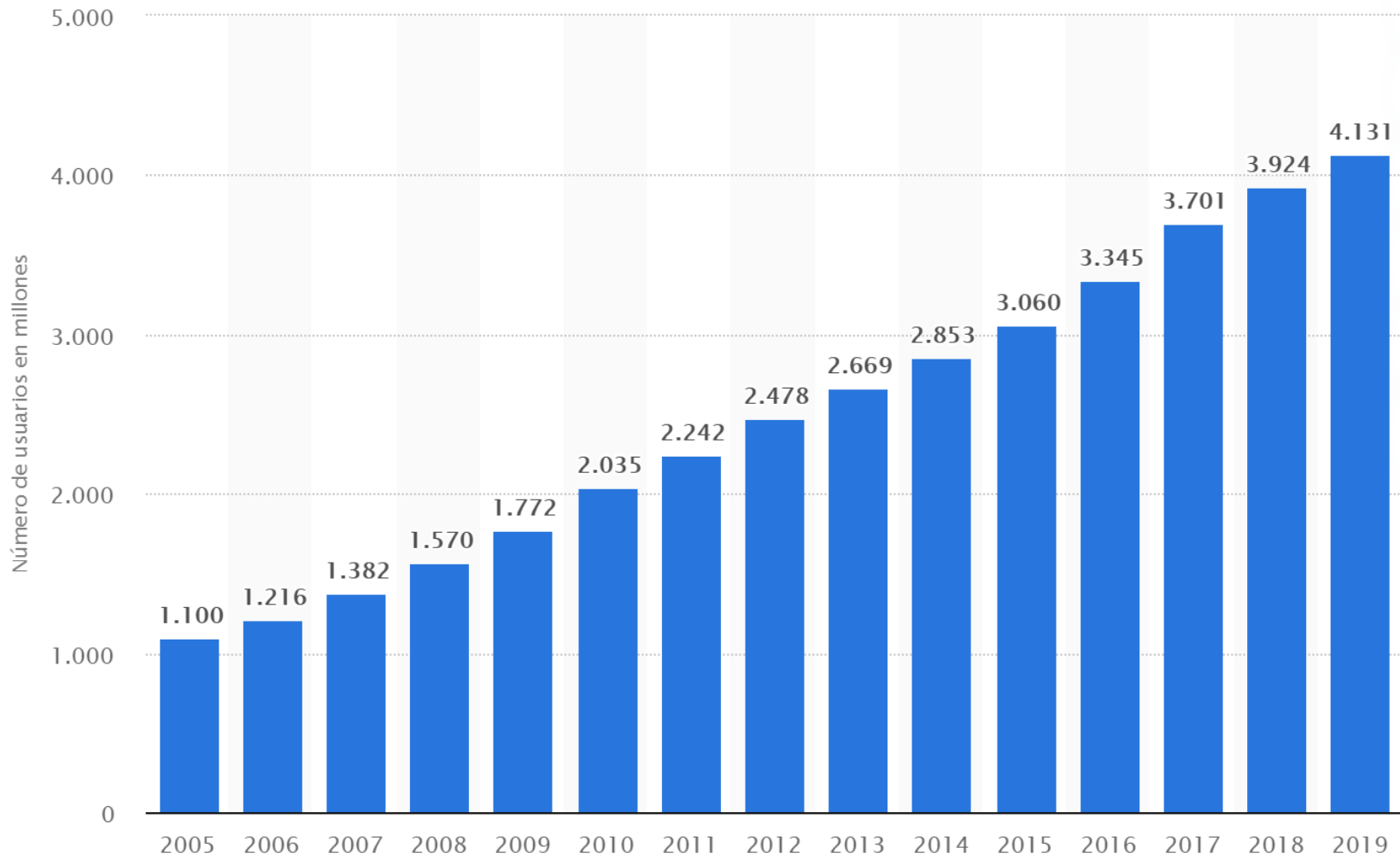
# Tema 1: Redes de Computadores e Internet

## Objetivos

- Toma de contacto y terminología
- Mayor profundidad, detalles más tarde en el curso
- Enfoque: usar Internet como ejemplo

## Contenido

1. **¿Qué es Internet?**
2. ¿Qué es un protocolo?
3. La frontera de la red: equipos, redes de acceso, medios físicos
4. El núcleo de la red: conmutación de paquetes/circuitos, arquitectura de Internet
5. Rendimiento: pérdidas, retardos, tasa de transferencia
6. Capas de protocolos, modelos de servicio
7. Historia



Fuente: Statista, 2020

# ¿Qué es Internet?



# ¿Qué es Internet?

## Hardware y Software



PC



servidor



portátil inalámbrico



teléfono móvil



puntos de acceso

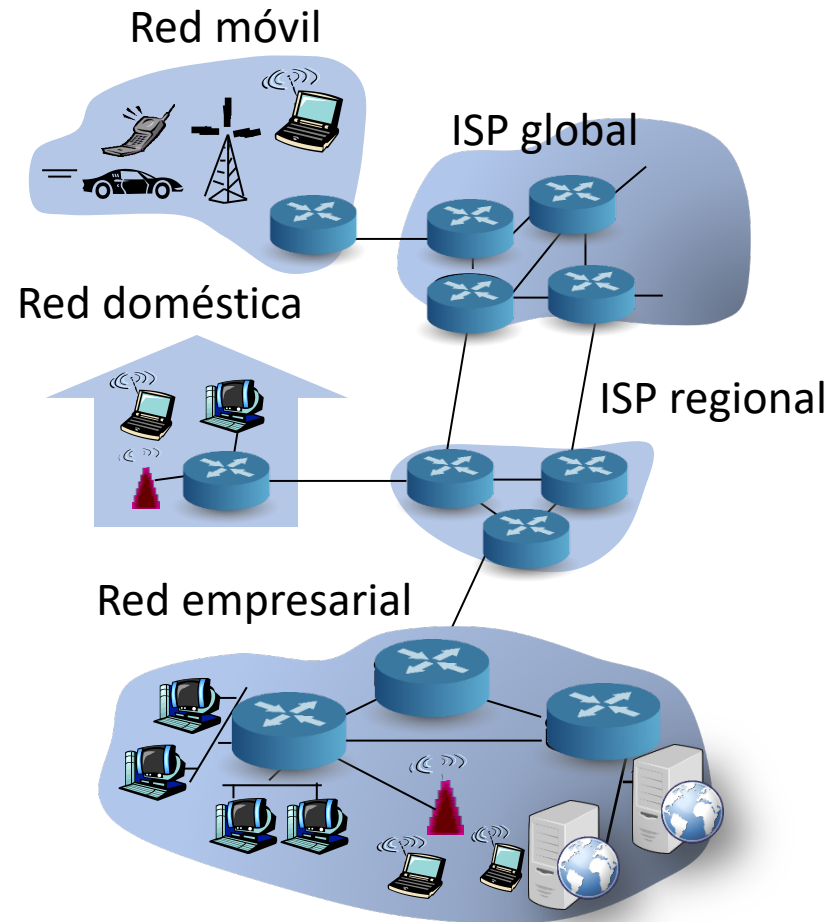


enlaces por cable



router

- Millones de dispositivos de computación conectados: **hosts = sistemas terminales = sistemas finales**
- Ejecutando **aplicaciones de red**.
- **Enlaces de comunicación**
  - Fibra, cobre, radio, satélite
  - Tasa de transmisión = **ancho de banda**
  - **Routers**: reenvían paquetes (bloques de datos)



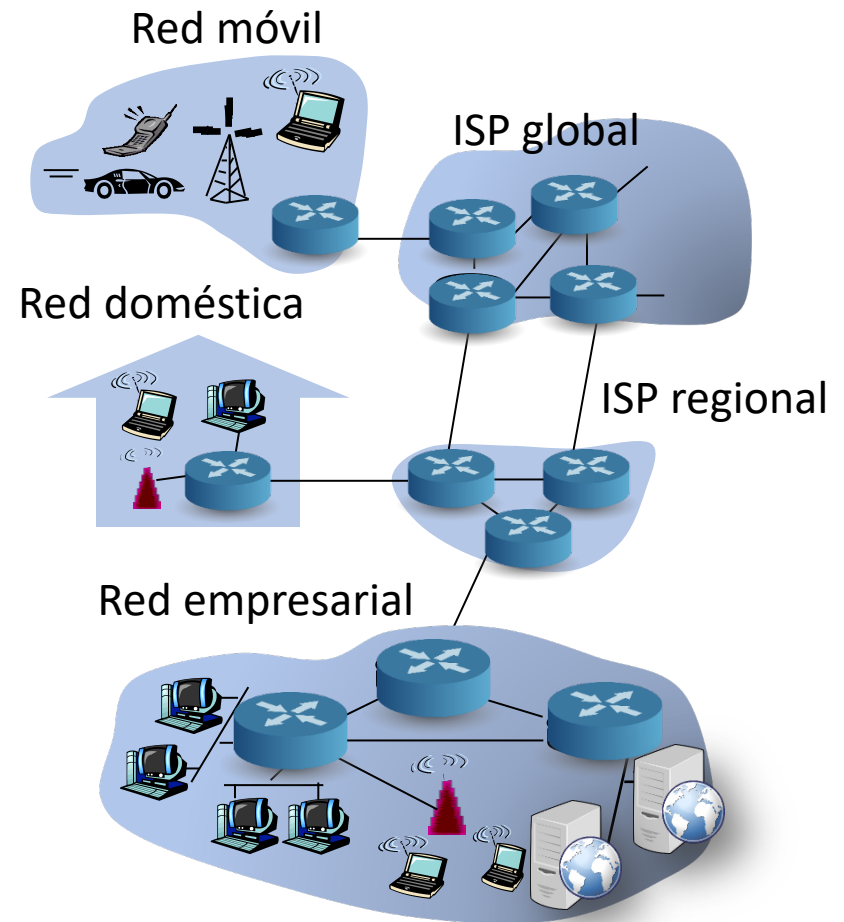
**ISP = Internet Service Provider o Proveedor de Servicio de Internet**



# ¿Qué es Internet?

## Hardware y Software

- **Protocolos** controlan el envío y la recepción de la información. Ejemplos: TCP, IP, HTTP, Skype, Ethernet.
- Internet: es la “**red de redes**”
  - Poco jerárquica.
  - Internet pública frente a intranet privada.
- Estándares de Internet
  - RFC: Request for comments.
  - IETF: Internet Engineering Task Force.

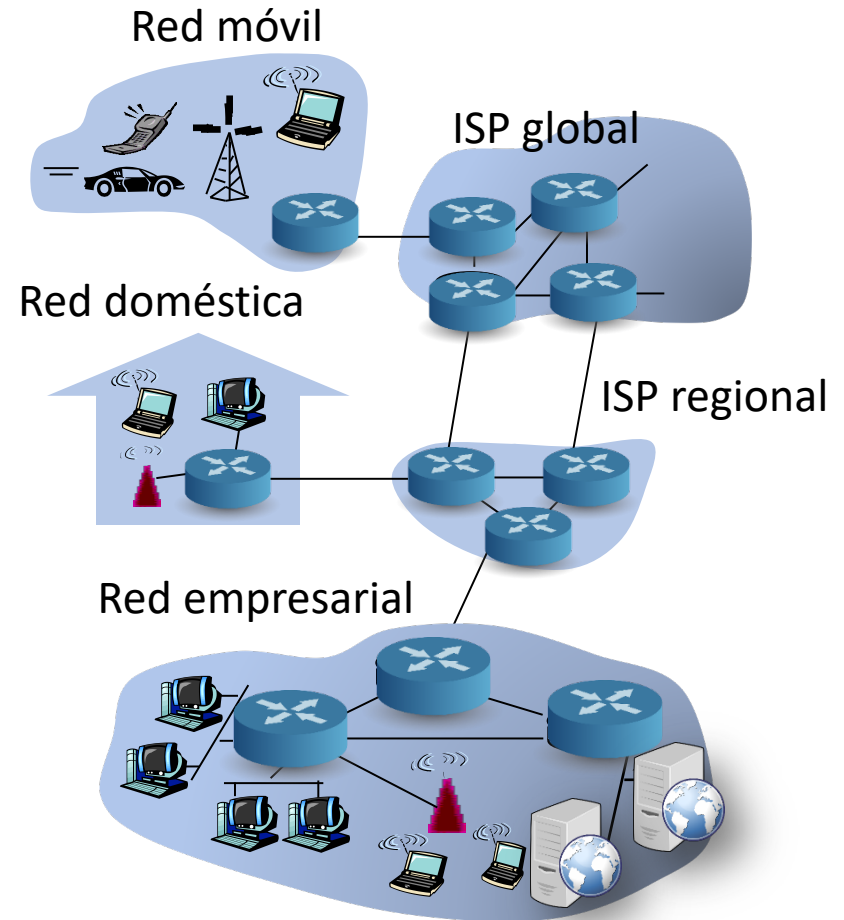


**ISP = Internet Service Provider o Proveedor de Servicio de Internet**

# ¿Qué es Internet?

## Servicios

- **Infraestructura de comunicación** permite aplicaciones distribuidas:
  - Web, VoIP, correo y comercio electrónico, juegos, compartición de ficheros, redes sociales, streaming...
- **Servicios de comunicación** proporcionados a las aplicaciones:
  - Entrega de datos fiable de origen a destino.
  - Entrega de datos con “mejor esfuerzo” (no fiable).



**ISP = Internet Service Provider o Proveedor de Servicio de Internet**

# Tema 1: Redes de Computadores e Internet

## Objetivos

- Toma de contacto y terminología
- Mayor profundidad, detalles más tarde en el curso
- Enfoque: usar Internet como ejemplo

## Contenido

1. ¿Qué es Internet?
2. **¿Qué es un protocolo?**
3. La frontera de la red: equipos, redes de acceso, medios físicos
4. El núcleo de la red: conmutación de paquetes/circuitos, arquitectura de Internet
5. Rendimiento: pérdidas, retardos, tasa de transferencia
6. Capas de protocolos, modelos de servicio
7. Historia

# ¿Qué es un protocolo?

## Protocolos humanos

- Preguntar la hora.
- Levantar la mano.
- Dejar salir antes de entrar.
- ... se envían mensajes específicos.
- ... se toman acciones específicas cuando se reciben las respuestas u otros sucesos.

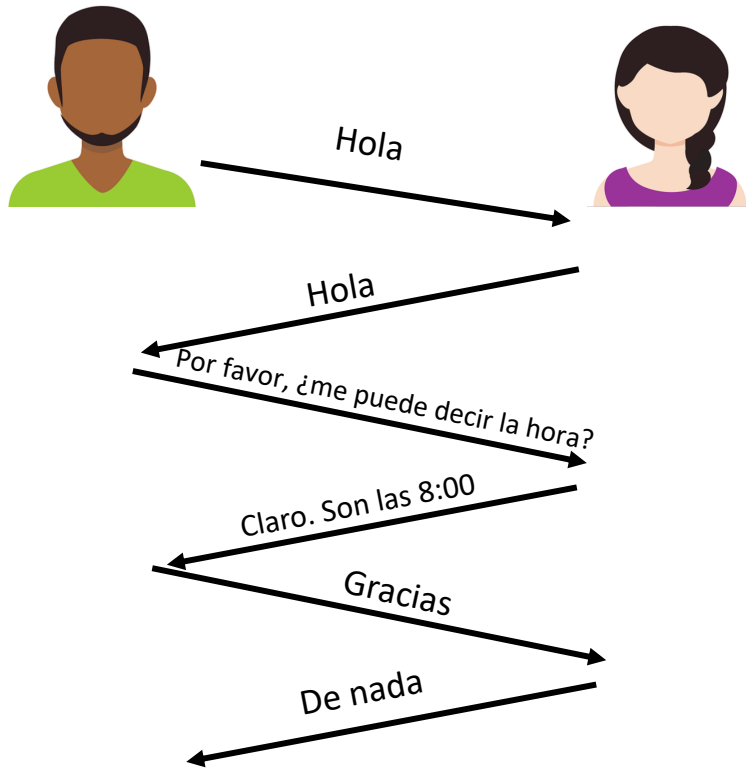
## Protocolos de red

- Intervienen máquinas en lugar de seres humanos.
- Toda la actividad de comunicación en Internet se rige por protocolos.

Un **protocolo** define el **formato** y el **orden** de los mensajes enviados y recibidos entre entidades de red, y las **acciones** tomadas en la transmisión y/o recepción de un mensaje u otro suceso.

# ¿Qué es un protocolo?

## Protocolos humanos



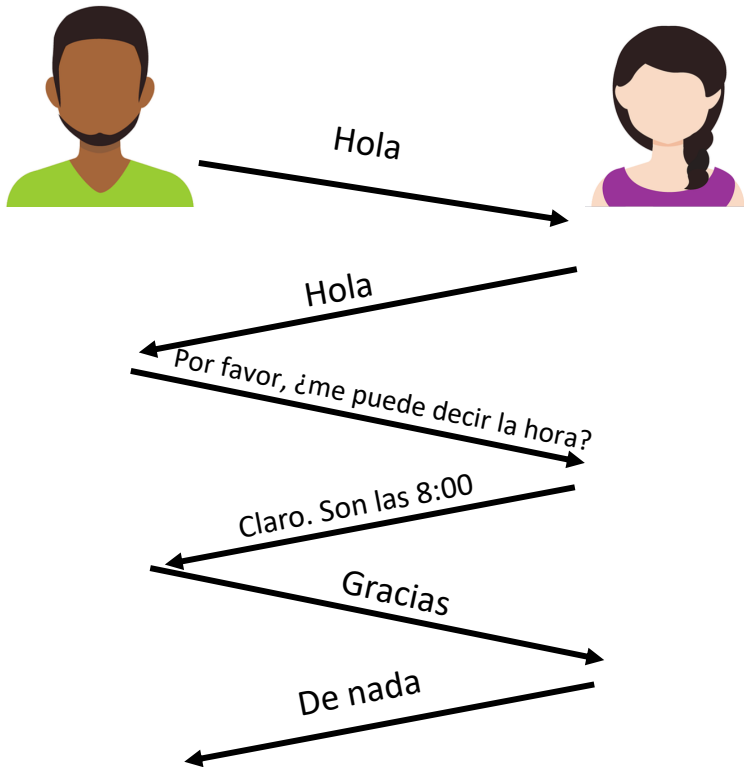
TIEMPO

## Protocolos de red

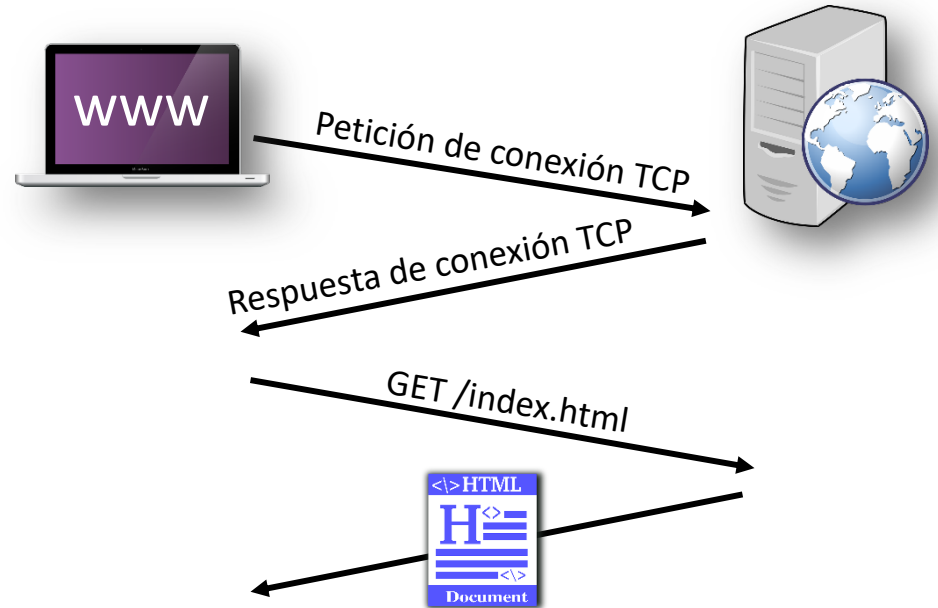


# ¿Qué es un protocolo?

## Protocolos humanos



## Protocolos de red



# Tema 1: Redes de Computadores e Internet

## Objetivos

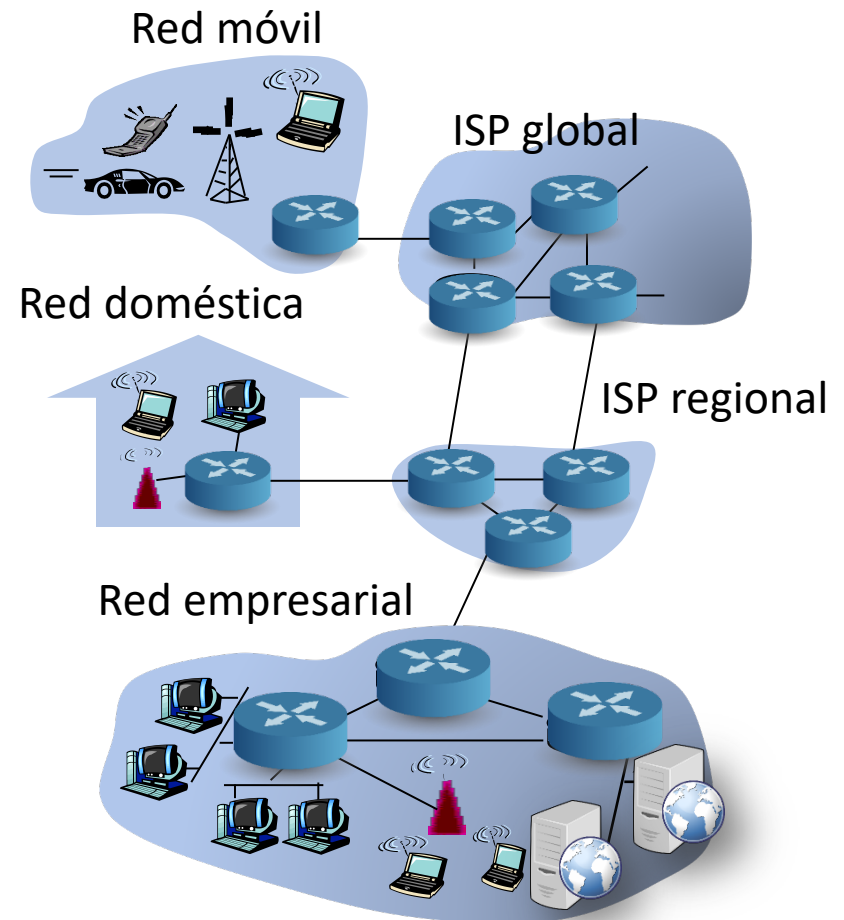
- Toma de contacto y terminología
- Mayor profundidad, detalles más tarde en el curso
- Enfoque: usar Internet como ejemplo

## Contenido

1. ¿Qué es Internet?
2. ¿Qué es un protocolo?
3. **La frontera de la red:** equipos, redes de acceso, medios físicos
4. El núcleo de la red: conmutación de paquetes/circuitos, arquitectura de Internet
5. Rendimiento: pérdidas, retardos, tasa de transferencia
6. Capas de protocolos, modelos de servicio
7. Historia

# Visión detallada de la Estructura de la Red

- **La frontera de la red:** aplicaciones y sistemas terminales.
- **Redes de acceso, medios físicos:** enlaces de comunicación cableados e inalámbricos.
- **El núcleo de la red:**
  - Routers interconectados.
  - Red de redes.

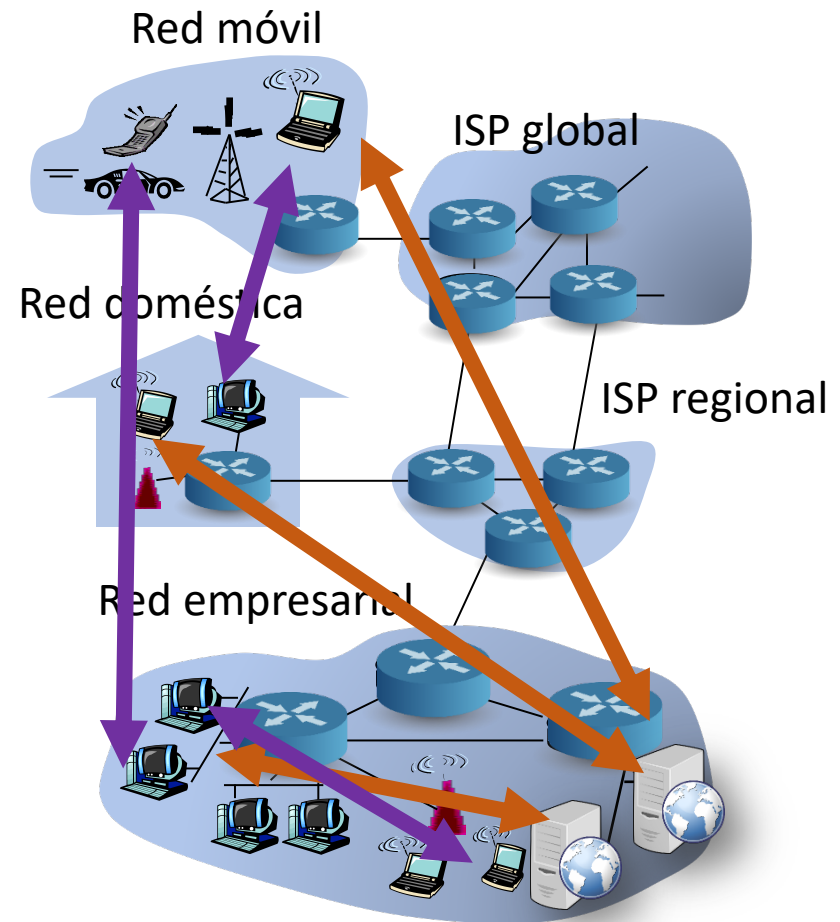


**ISP = Internet Service Provider o Proveedor de Servicio de Internet**



# Estructura de la red: La frontera de la red

- **Sistemas terminales (hosts):**
  - Ejecuta programas de aplicación
  - Ej. Web, correo electrónico...
  - En la “frontera de la red”
- **Modelo cliente/servidor**
  - Sistema terminal cliente solicita y recibe un servicio de un servidor
  - Ej. navegador/servidor Web...
- **Modelo peer-peer:**
  - Mínimo uso (o ninguno) de servidores dedicados
  - Ej. Skype, BitTorrent...



**ISP = *Internet Service Provider* o  
Proveedor de Servicio de Internet**

# Estructura de la Red:

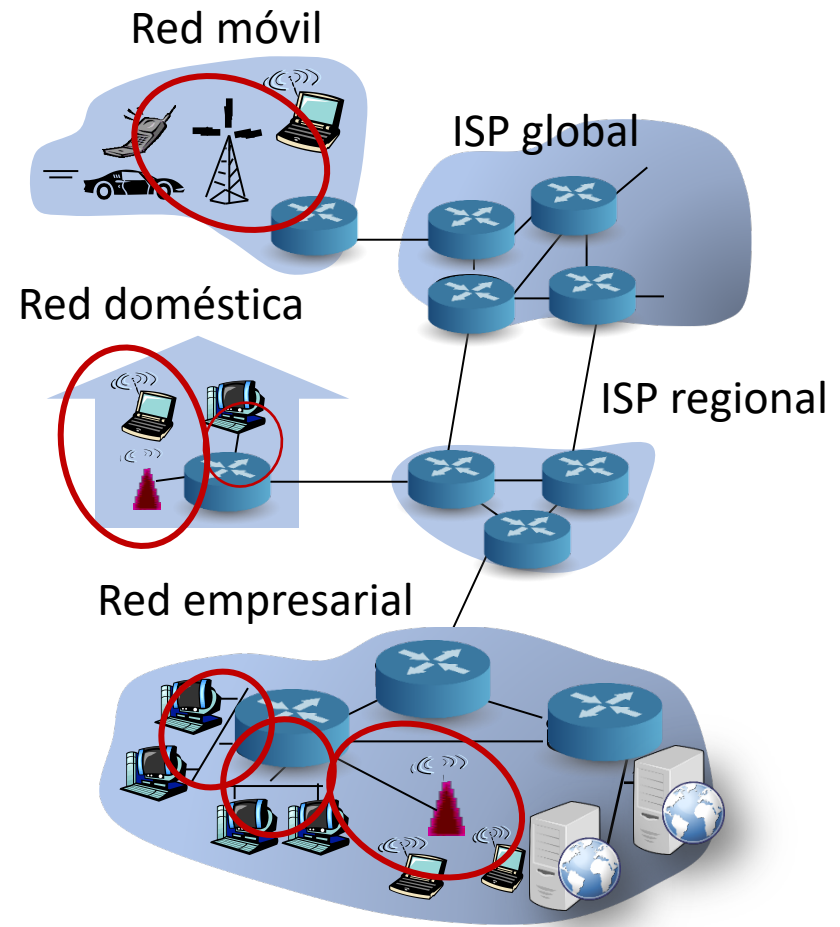
## Redes de acceso y medios físicos

### ¿Cómo conectar sistemas terminales a un router de frontera?

- Redes de acceso domésticas.
- Redes de acceso institucionales (colegio, empresa).
- Redes de acceso móviles.

Ten en cuenta:

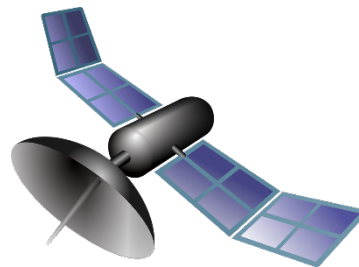
- Ancho de banda (bits por segundo) de acceso a la red.
- Compartida o dedicada.
- Medio físico de transmisión.



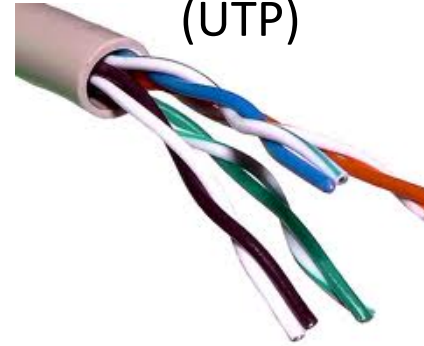
# Estructura de la Red:

## Medios físicos

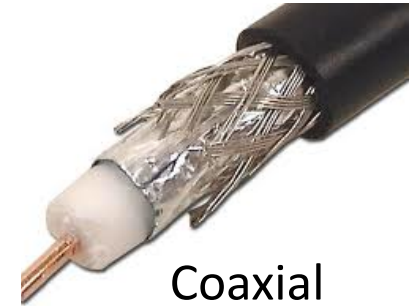
- Bit: se propaga entre transmisor y receptor(es).
- Enlace físico: el medio que hay entre el transmisor y el receptor.
  - Guiados: las señales se transportan por un medio sólido: cobre (par trenzado; coaxial), fibra.
  - No guiados: Las señales se propagan por el espacio: microondas terrestres, WLAN (WiFi), móviles (4G), satélite.



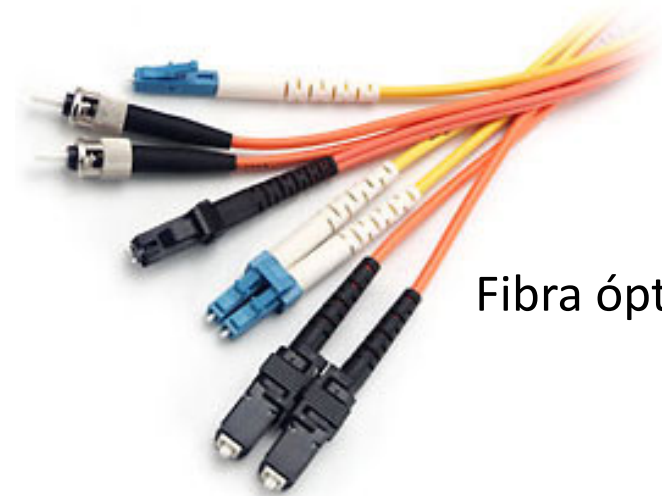
Par trenzado  
(UTP)



Coaxial



Fibra óptica



# Estructura de la Red:

## Medios físicos guiados

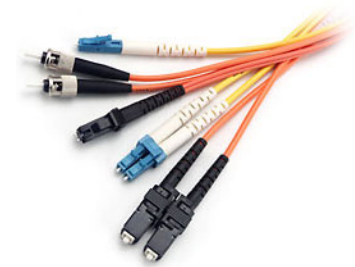
### Par trenzado (Twisted Pair, TP)

- Dos cables de cobre aislados.
- Categoría del cable => Velocidad soportada.



### Cable coaxial:

- Dos conductores de cobre concéntricos.
- Bidireccional.
- Banda base:
  - Un único canal sobre un cable.
  - Heredado de Ethernet.
- Banda ancha:
  - Varios canales sobre un cable.
  - HFC o en TV.



### Cable de fibra óptica:

- Fibra de vidrio conduciendo pulsos de luz, cada pulso representa un bit.
- Alta velocidad de operación:
  - Transmisión punto a punto de alta velocidad (ej., 10's-100's Gpbs)
- Tasa de error baja: atenuación baja permite repetidores muy espaciados; inmune a las interferencias electromagnéticas.

# Estructura de la Red:

## Medios físicos no guiados

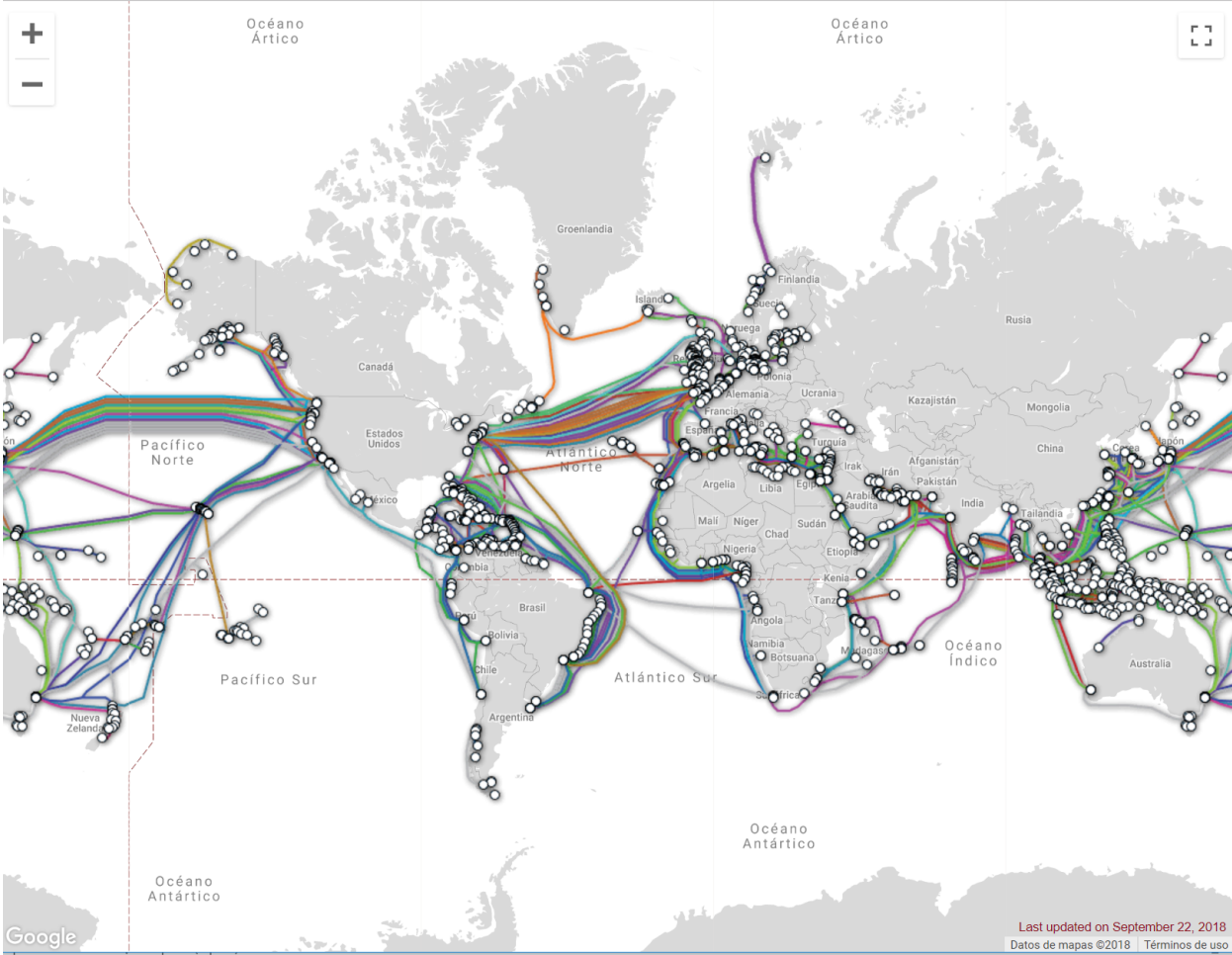
- Señales transportadas en el espectro electromagnético.
- Sin “cable” físico.
- Omnidireccional o direccional.
- Efectos del entorno de propagación:
  - Reflexión.
  - Obstrucción por objetos.
  - Interferencia.

### **Tipos de canales de radio:**

- Microondas terrestre
  - Alta direccionalidad.
- WLAN (ej., WiFi)
  - Omnidireccional.
- Área-extensa (ej., móvil)
  - Móviles.
- Satélite
  - Retraso de extremo a extremo de 270 ms => ¡Es un problema!
  - TV por satélite.
  - Internet: se prefiere cables submarinos.



← → ↻ <https://www.submarinecablemap.com/>



Océano Ártico

Océano Índico

Océano Antártico

Pacífico Norte

Pacífico Sur

Atlántico Norte

Atlántico Sur


Google

Map labels: Groenlandia, Canadá, Estados Unidos, México, Nueva Zelanda, Brasil, Chile, Argentina, Groenlandia, Finlandia, Suecia, Polonia, Alemania, Ucrania, Kazajistán, Mongolia, Rusia, China, Corea del Sur, Japón, España, Portugal, Francia, Irlanda, Afganistán, Pakistán, India, Tailandia, Arabia Saudita, Irak, Irán, Egipto, Libia, Argelia, Mali, Niger, Chad, Sudán, Nigeria, Etiopía, Kenia, Tanzania, Angola, Namibia, Botsuana, Mozambique, África del Sur, Australia.

TeleGeography  
**Submarine Cable Map**

The Submarine Cable Map is a free and regularly updated resource from TeleGeography.

Got a question about how we make this map? Or about how submarine cables work? [Look no further.](#)

 **HUAWEI MARINE**

Sponsored in part by Huawei Marine. [Feedback](#) [github](#)

**Submarine Cables**

- [ACS Alaska-Oregon Network \(AKORN\)](#)
- [Aden-Djibouti](#)
- [Adria-1](#)
- [AEC-1](#)
- [Africa Coast to Europe \(ACE\)](#)
- [Africa-1](#)
- [Alaska United East](#)
- [Alaska United Southeast](#)
- [Alaska United Turnagain Arm \(AUTA\)](#)
- [Alaska United West](#)
- [ALBA-1](#)
- [Aletar](#)
- [Alonso de Ojeda](#)
- [ALPAL-2](#)
- [America Movil Submarine Cable System-1 \(AMX-1\)](#)
- [American Samoa-Hawaii \(ASH\)](#)
- [Americas-I North](#)
- [Americas-II](#)
- [Amerigo Vespucci](#)
- [Antillas 1](#)
- [APCN-2](#)
- [Aphrodite 2](#)
- [Apollo](#)
- [Aqualink](#)
- [ARBR](#)
- [ARCOS](#)

Last updated on September 22, 2018  
Datos de mapas ©2018 | Términos de uso

All content © 2018 PriMetrica, Inc.

<https://www.submarinecablemap.com/>

# Estructura de la Red:

## Redes de Acceso: Redes de Banda Ancha

- Redes de acceso fijo:
  - Líneas de abonado digital sobre pares de cobre telefónico (ADSL y VDSL).
  - Cableadas:
    - Soluciones híbridas de fibra y coaxial (HFC).
    - Fibra óptica hasta el hogar(FTTH).
  - Inalámbricas:
    - $\geq 2$ Mbps.
    - $\geq 30$ Mpbs.
- Redes de acceso móvil:
  - Redes 3,5G (UMTS con HSPA).
  - Redes 4G (LTE).
  - [Redes 5G.]

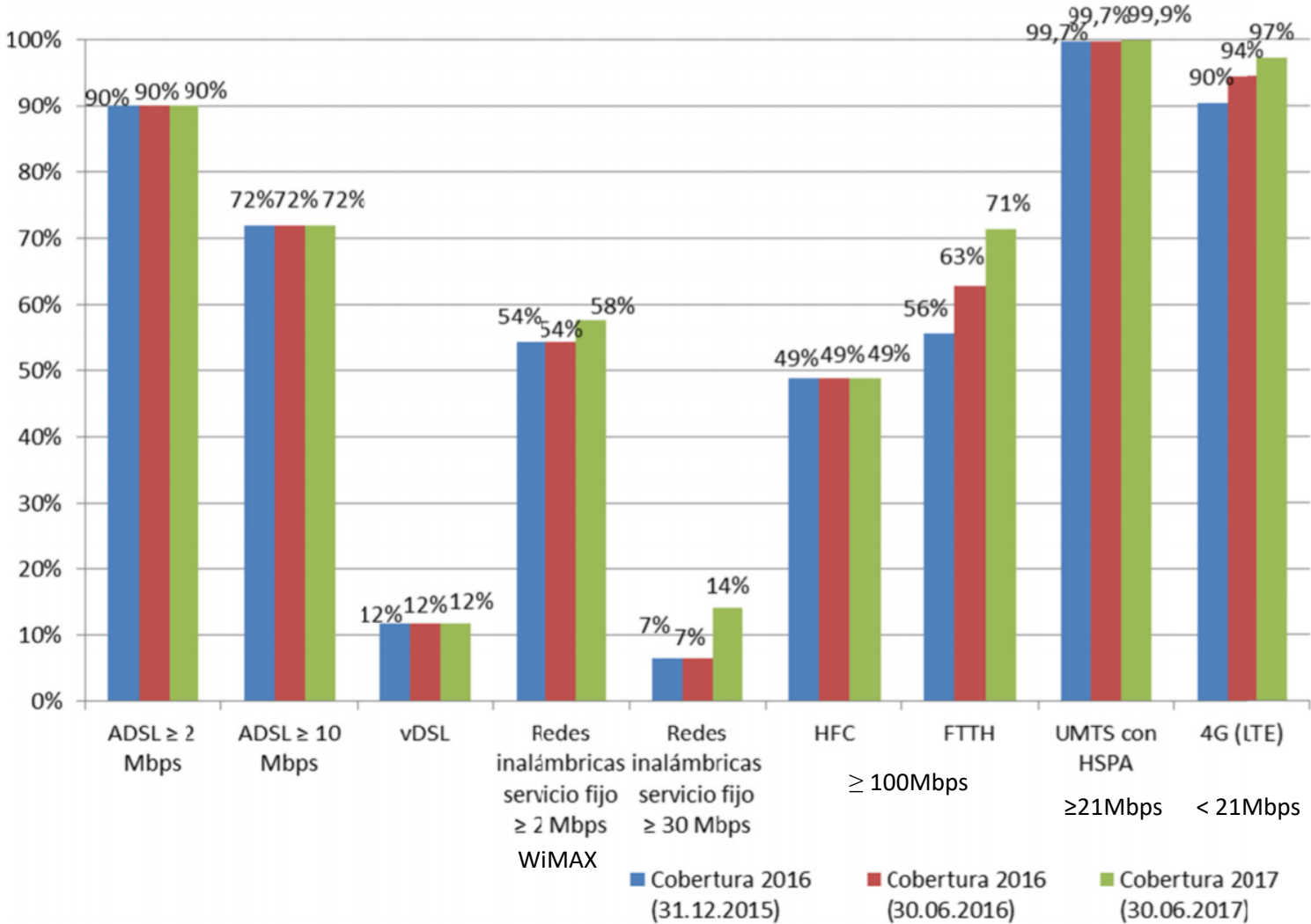
Diferencias entre 4G, 4G+ y 5G

	4G	4G+	5G
Velocidad (Mbps)	200	1200	10000
Latencia (milisegundos)	100	20	1-2

Datos teóricos máximos. En la latencia, cuanto menor sea el dato mejor.



## Evolución de la cobertura por tecnología

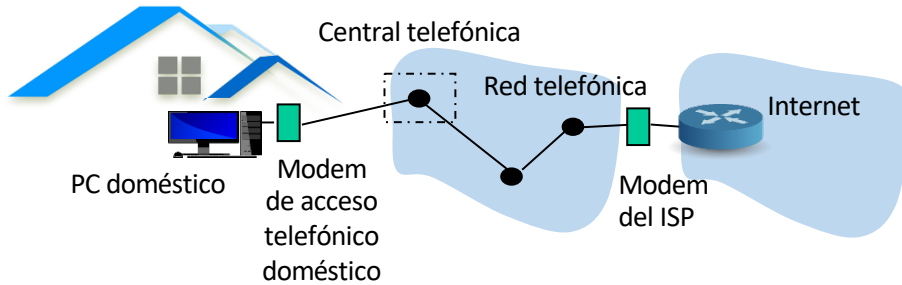




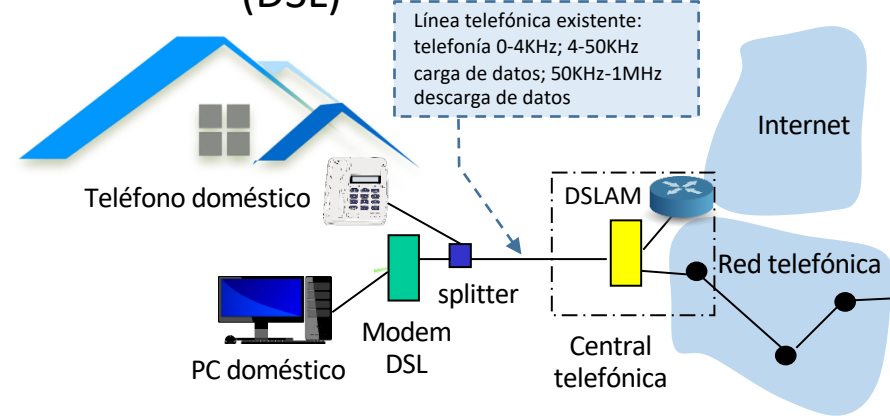
# Estructura de la red:

## Redes de acceso domésticas

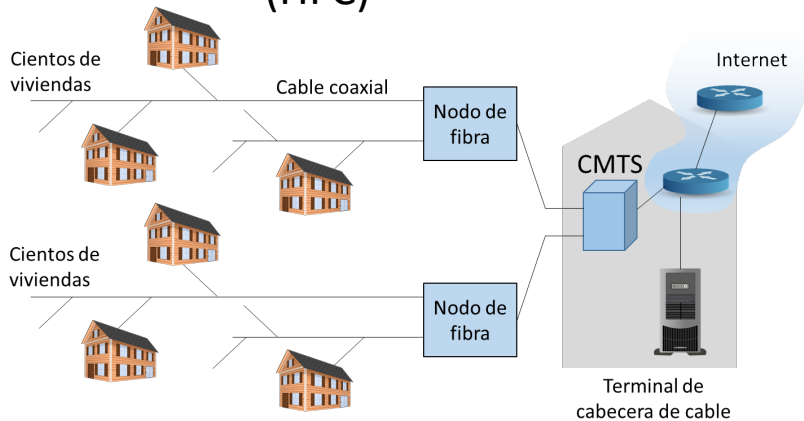
### Acceso telefónico (modem)



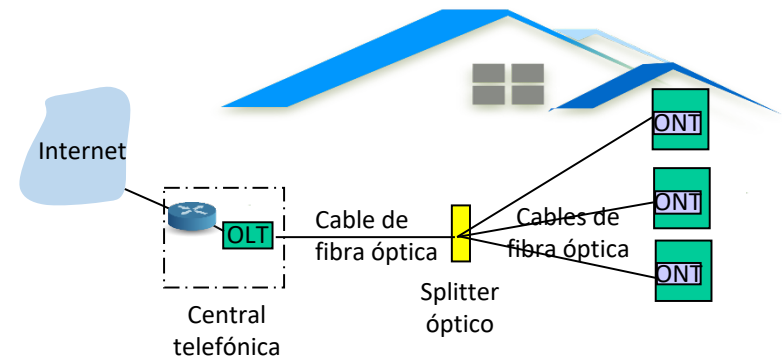
### Digital Subscriber Line (DSL)



### Hybrid Fiber Cable (HFC)



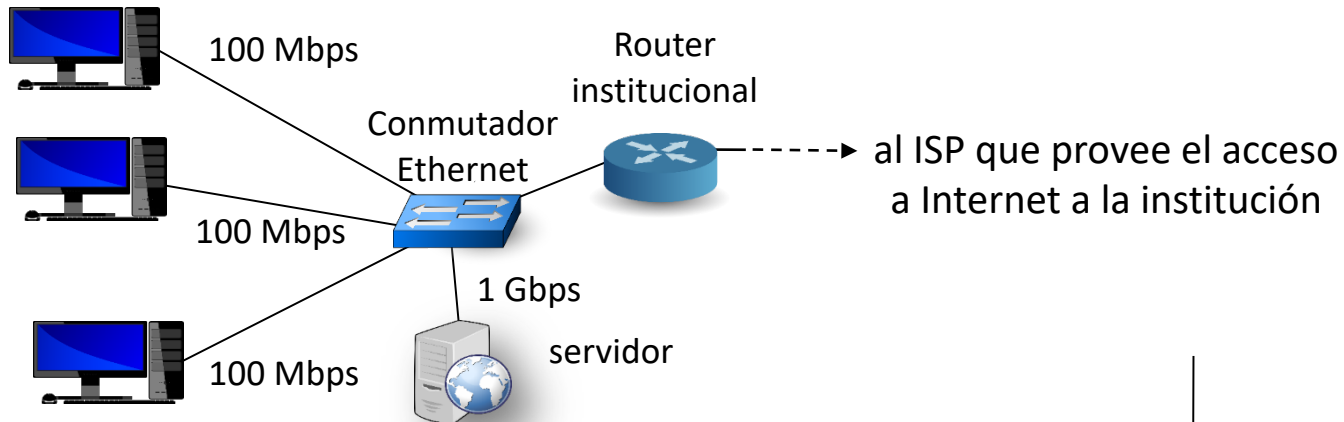
### Fiber To The Home (FTTH)



ONT: Optical Network Terminator  
OLT: Optical Line Terminator

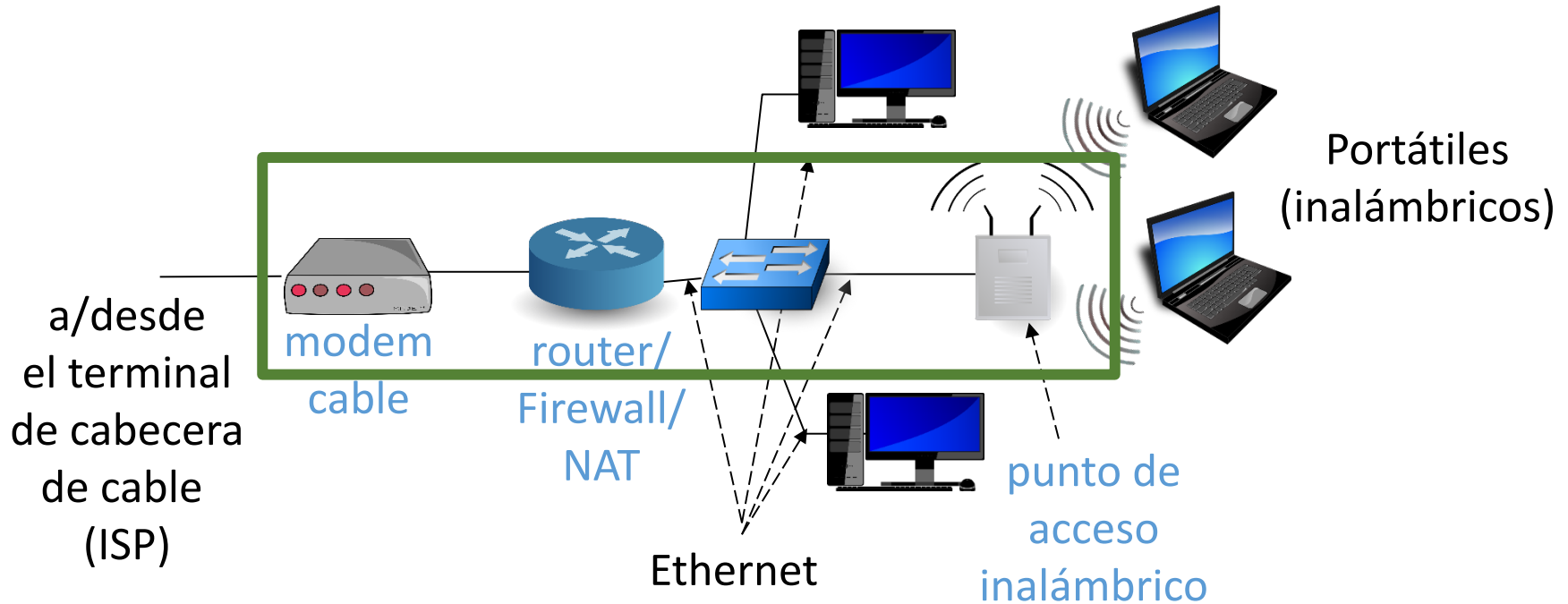
# Estructura de la Red:

## Redes de acceso institucionales



# Estructura de la Red:

## Componentes típicos en una Red de Acceso Doméstica



SOHO (*Small Office, home Office*)

# Tema 1: Redes de Computadores e Internet

## Objetivos

- Toma de contacto y terminología
- Mayor profundidad, detalles más tarde en el curso
- Enfoque: usar Internet como ejemplo

## Contenido

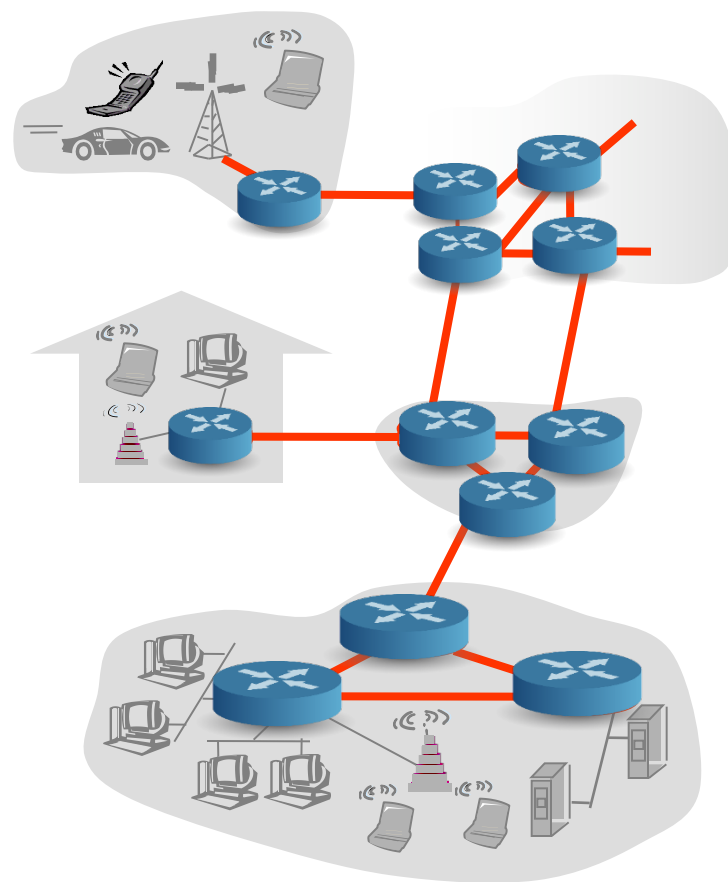
1. ¿Qué es Internet?
2. ¿Qué es un protocolo?
3. La frontera de la red: equipos, redes de acceso, medios físicos
4. **El núcleo de la red:** conmutación de paquetes/circuitos, arquitectura de Internet
5. Rendimiento: pérdidas, retardos, tasa de transferencia
6. Capas de protocolos, modelos de servicio
7. Historia

# El núcleo de la red

Malla de routers interconectados.

¿Cómo se transfieren los datos a través de la red?

- **Conmutación de circuitos:** circuito dedicado por llamada (red telefónica).
- **Conmutación de paquetes:** los datos se envían a través de la red en fragmentos más pequeños (paquetes).



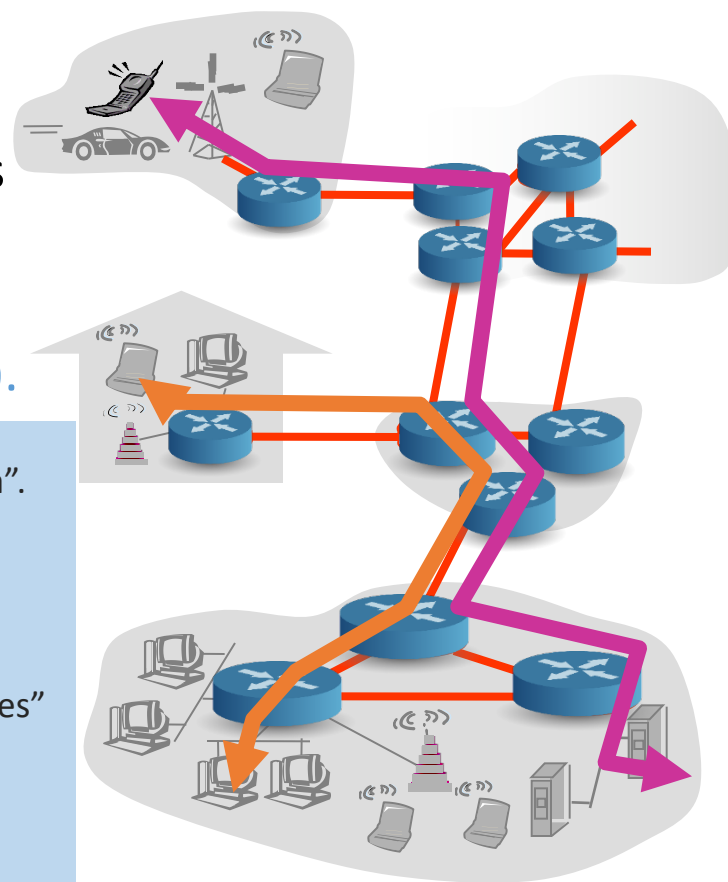
# El núcleo de la red

Malla de routers interconectados.

¿Cómo se transfieren los datos a través de la red?

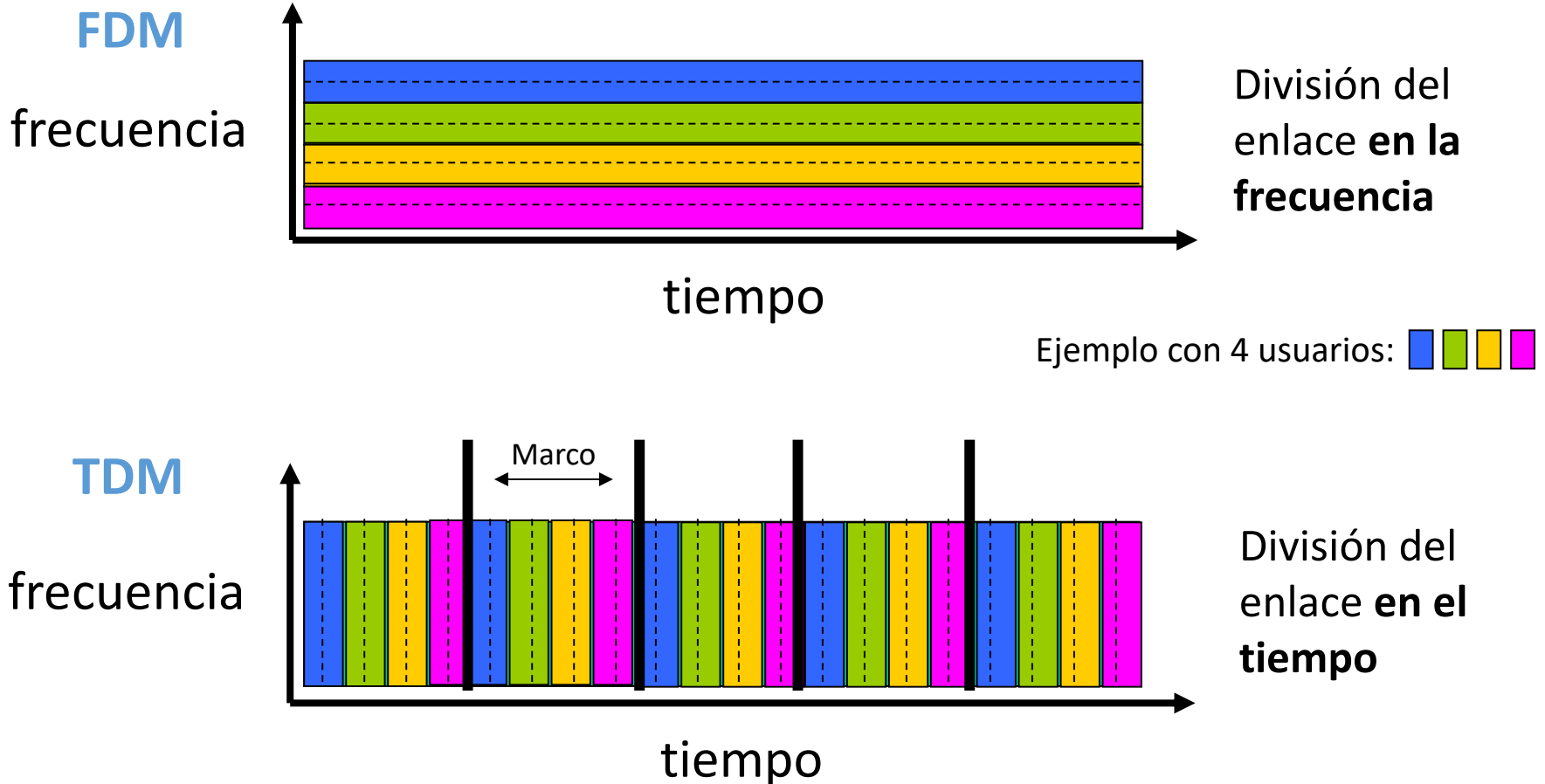
- **Conmutación de circuitos: circuito dedicado por llamada (red telefónica).**

- Recursos de extremo a extremo reservados por “llamada”.
- Ancho de banda del enlace, capacidad del router.
- Recursos dedicados: no se comparten.
- Rendimiento garantizado.
- Establecimiento de llamada requerido.
- Recursos de red (p.e., ancho de banda) dividido en “partes”
  - Partes asignadas a llamadas.
  - Parte del recurso inutilizado si no es usado por el que realiza la llamada (no se comparte).
- División del ancho de banda del enlace en “partes”:
  - División de frecuencia.
  - División de tiempo.



# El núcleo de la red

## Conmutación de Circuitos: Ejemplos de acceso al medio



# El núcleo de la red

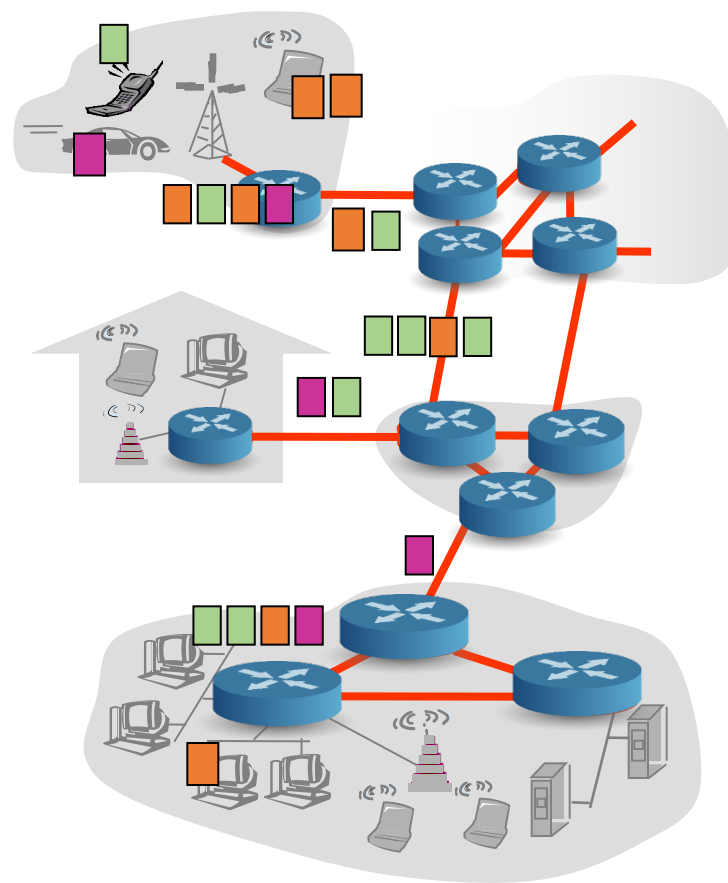
**Cada flujo de datos de extremo a extremo se divide en paquetes:**

- Paquetes de distintos usuarios comparten los recursos de la red.
- Cada paquete usa el ancho de banda del enlace completo.
- Recursos se usan según se necesitan, no hay reserva de recursos.

**Contienda por los recursos:**

- La demanda de recursos del conjunto puede exceder la cantidad disponible → congestión (espera para el uso del enlace → colas de paquetes).
- Propagación mediante *store and forward*: los paquetes avanzan un paso cada vez y el nodo recibe completamente el paquete antes del reenvío.

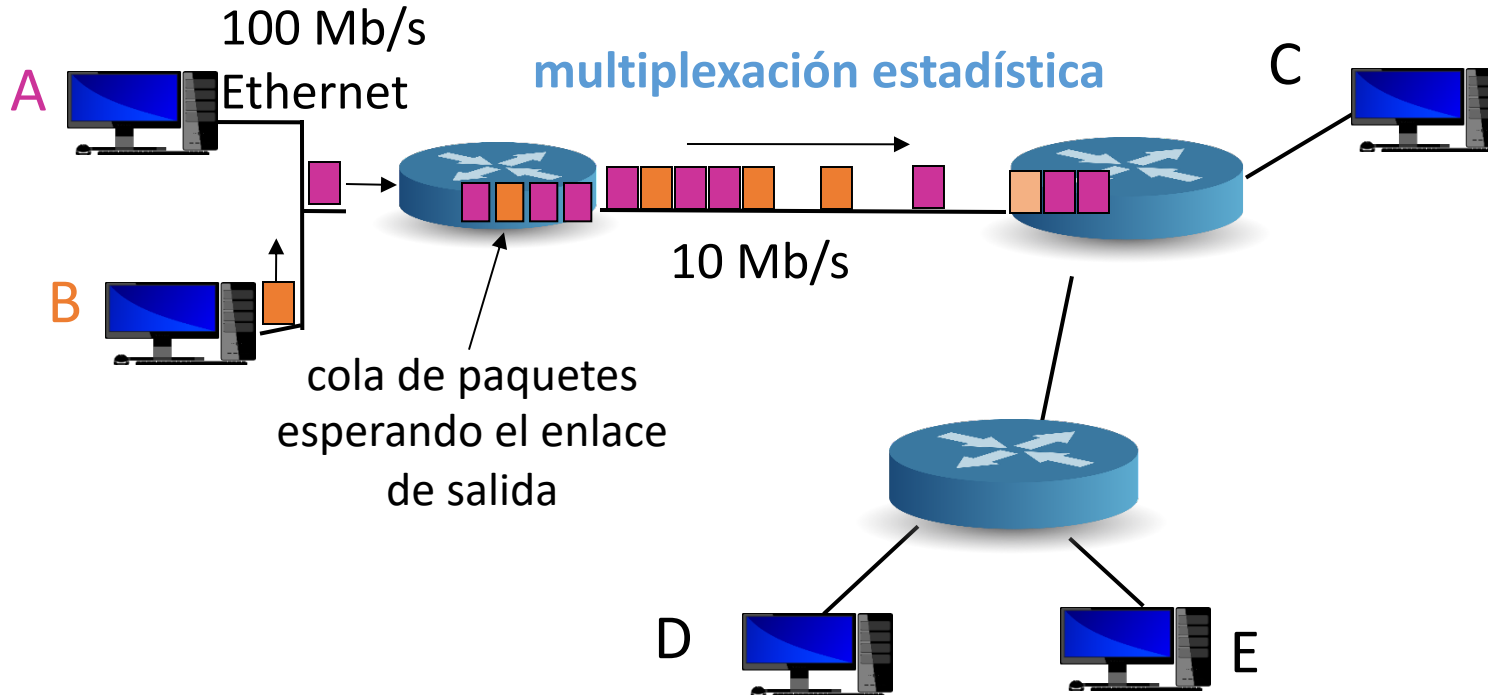
- **Conmutación de paquetes:** los datos se envían a través de la red en fragmentos más pequeños (paquetes)





# El núcleo de la red

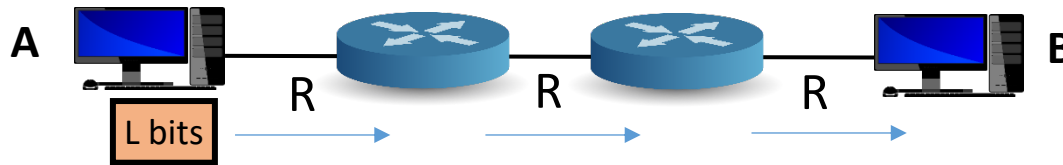
## Conmutación de Paquetes: Ejemplo de acceso al medio



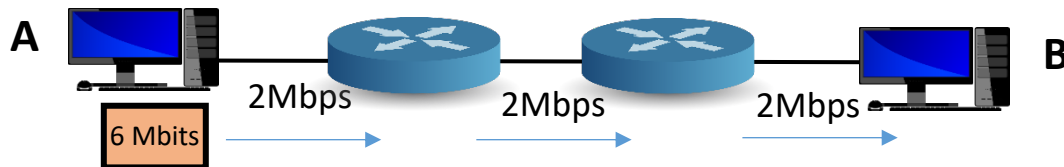
- La secuencia de paquetes de A y B no tiene patrón temporal fijo
  - El ancho de banda es compartido bajo demanda → **multiplexación estadística**

# El núcleo de la red

## Conmutación de paquetes: Propagación Store-and-Forward



- Se tarda  $L/R$  segundos en transmitir paquetes de  $L$  bits sobre un enlace de  $R$  bps.
- Store and forward: el paquete **completo** debe llegar al router **antes** de ser transmitido al siguiente enlace.
- Retardo del nodo A al nodo B es  $3L/R$  (asumiendo retardo de propagación cero).



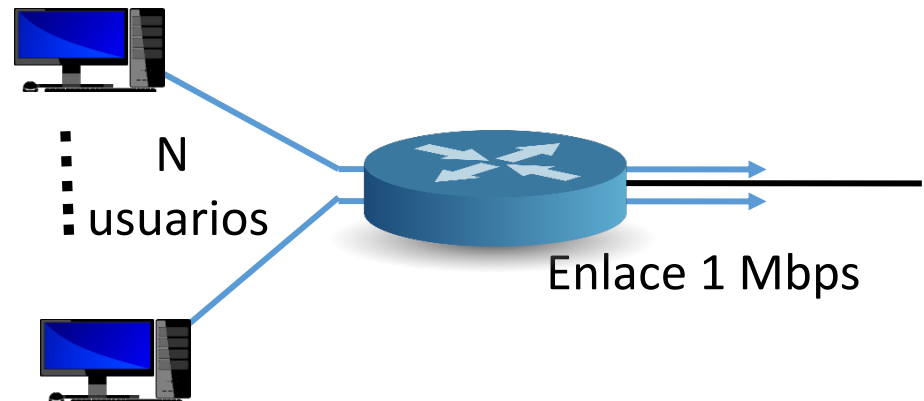
# El núcleo de la red

## Conmutación de paquetes vs. circuitos

La conmutación de paquetes permite a más usuarios usar la red.

Ejemplo:

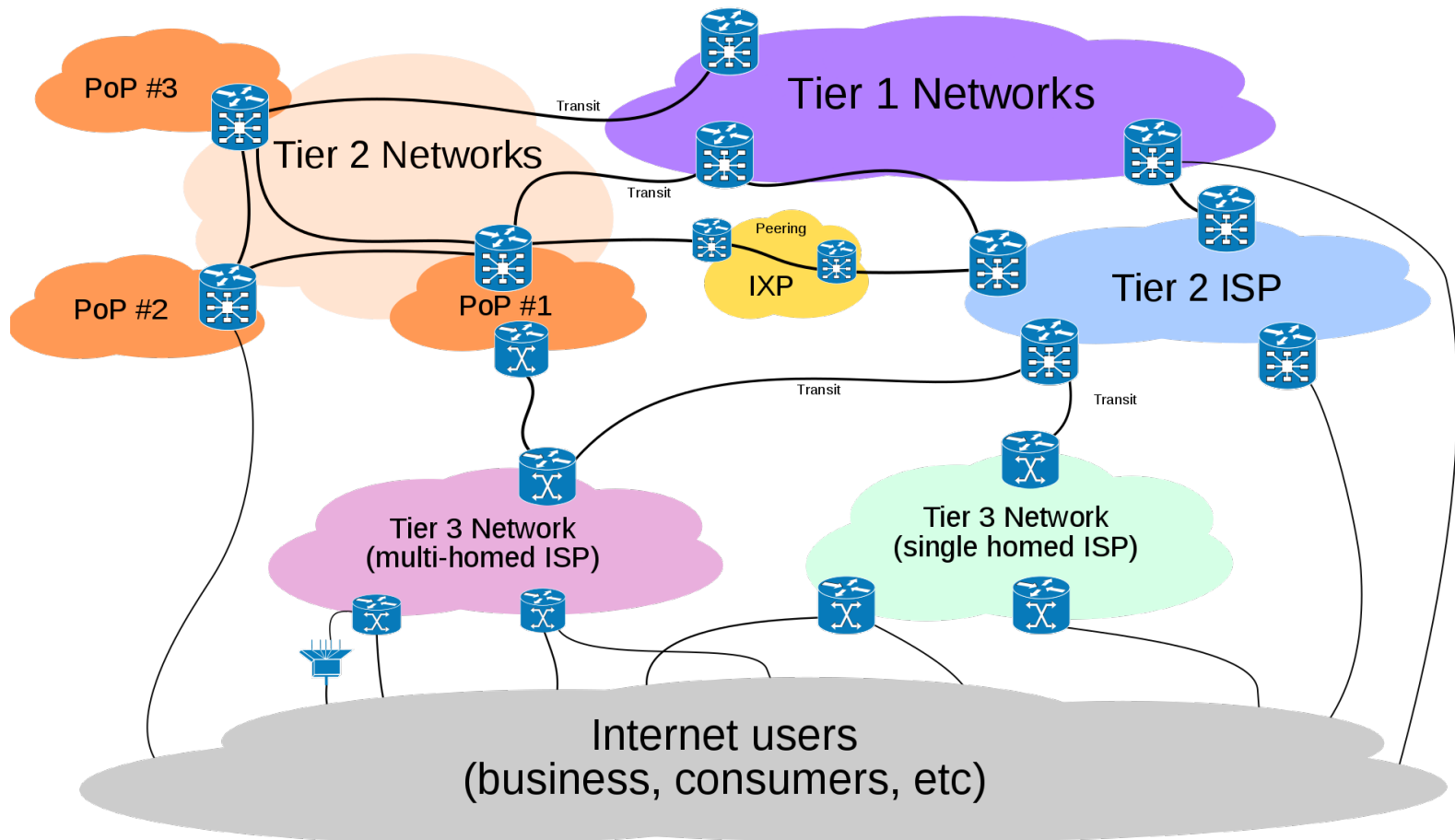
- Enlace de 1Mbps
- Cada usuario:
  - 100Kbps cuando está “activo”
  - Activo el 10% del tiempo
- Conmutación de circuitos:
  - 10 usuarios
- Conmutación de paquetes:
  - con 35 usuarios, probabilidad  $> 10$  activos en el mismo tiempo es menor que 0.0004



P: ¿qué sucede si  $> 35$  usuarios ?

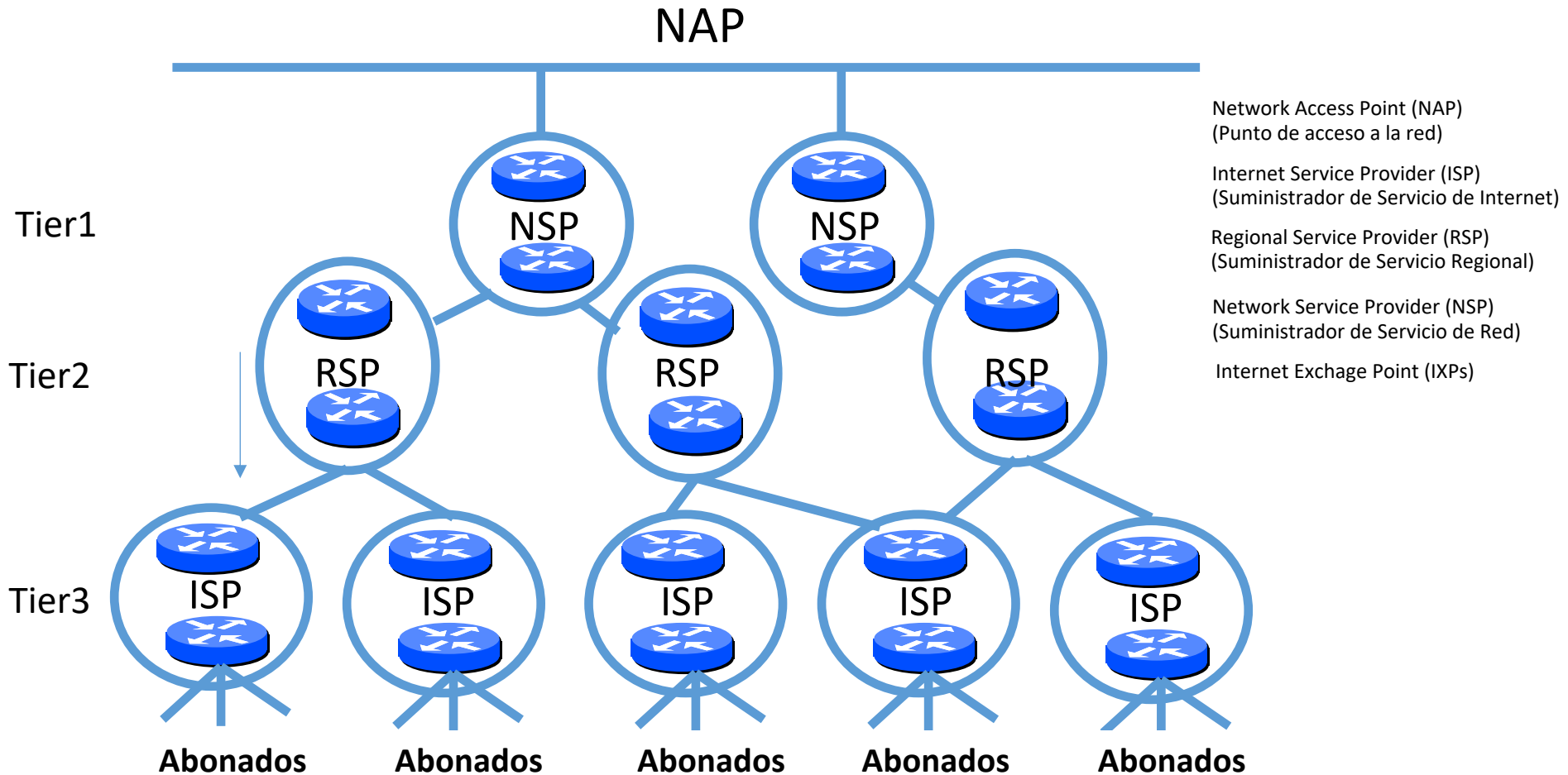
# El núcleo de la red

## Estructura de Internet: red de redes



# El núcleo de la red

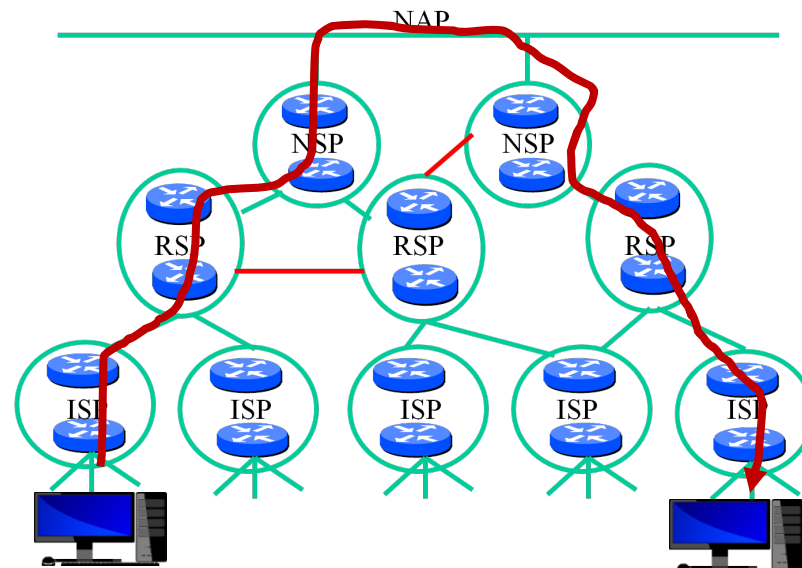
## Estructura de Internet: red de redes



# El núcleo de la red

## Estructura de Internet: red de redes

- Un NAP es una red de acceso de alta velocidad, típicamente Ethernet, a través de la cual los ISPs intercambian rutas y tráfico. También conocido como IXP, Internet Exchange Point o NP (Neutral Point, Punto Neutro).
  - Ver: <http://www.espanix.es/es/traffic.html>
- Es posible que los RSP se conecten mediante enlaces privados a otros RSP o NSP.
- Un paquete pasa a través de muchas redes desde el equipo fuente al equipo destino.



# Tema 1: Redes de Computadores e Internet

## Objetivos

- Toma de contacto y terminología
- Mayor profundidad, detalles más tarde en el curso
- Enfoque: usar Internet como ejemplo

## Contenido

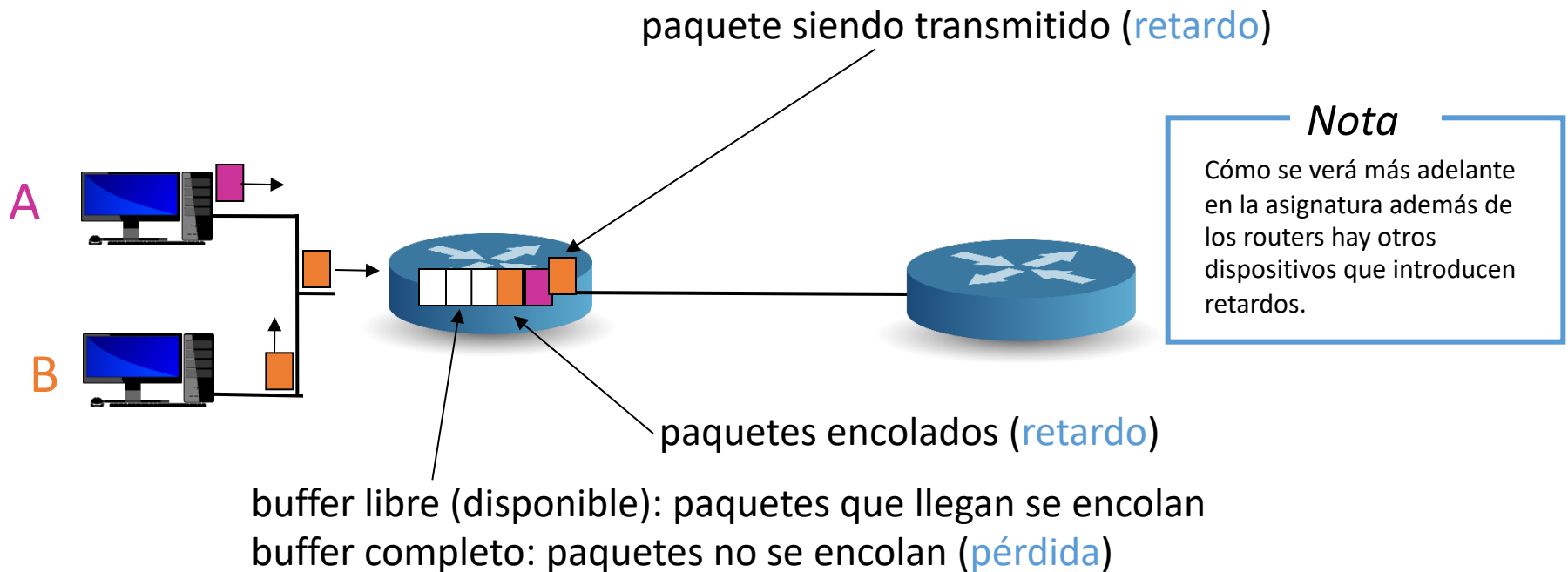
1. ¿Qué es Internet?
2. ¿Qué es un protocolo?
3. La frontera de la red: equipos, redes de acceso, medios físicos
4. El núcleo de la red: conmutación de paquetes/circuitos, arquitectura de Internet
5. **Rendimiento:** pérdidas, retardos, tasa de transferencia (**redes de conmutación de paquetes**)
6. Capas de protocolos, modelos de servicio
7. Historia

# Rendimiento

## ¿Cómo ocurren las pérdidas y los retardos?

Los paquetes se **encolan** en el buffer del router.

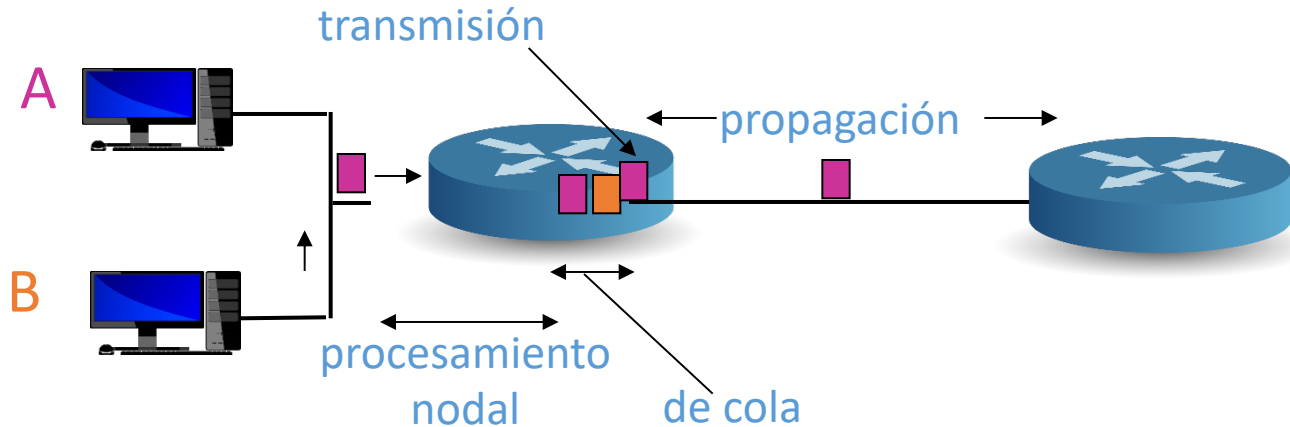
Si la tasa de llegada de paquetes al enlace excede la capacidad de salida del mismo, los paquetes se encolan, esperando su turno.





# Rendimiento

## Cuatro fuentes de retardos



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

### $d_{\text{proc}}$ : procesamiento nodal

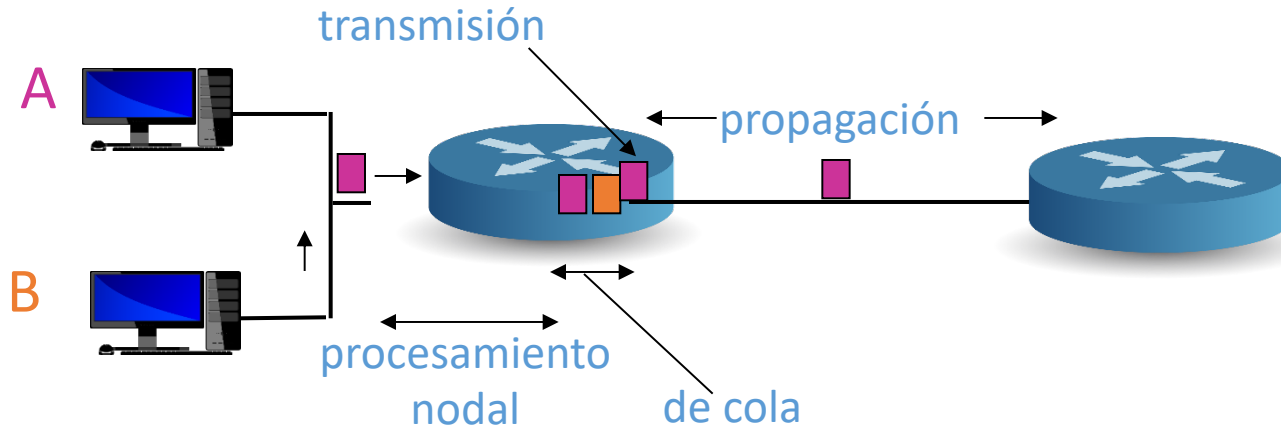
- Comprobar errores de nivel de bit.
- Determinar el enlace de salida.
- Típicamente  $< \mu\text{s}$ .

### $d_{\text{cola}}$ : retardo de cola

- Tiempo de espera antes de ser transmitido por el enlace de salida.
- Depende del nivel de congestión del router.
- Típicamente  $\mu\text{s}$  o  $\text{ms}$ .

# Rendimiento

## Cuatro fuentes de retardos



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

### $d_{\text{trans}}$ : retardo de transmisión

- L: longitud del paquete (bits).
- R: ancho de banda del enlace (bps).

$$d_{\text{trans}} = L/R \text{ (}\mu\text{s o ms)}$$

### $d_{\text{prop}}$ : retardo de propagación

- d: longitud del enlace físico
- s: velocidad de propagación del medio ( $\sim 2 \times 10^8$  m/s)

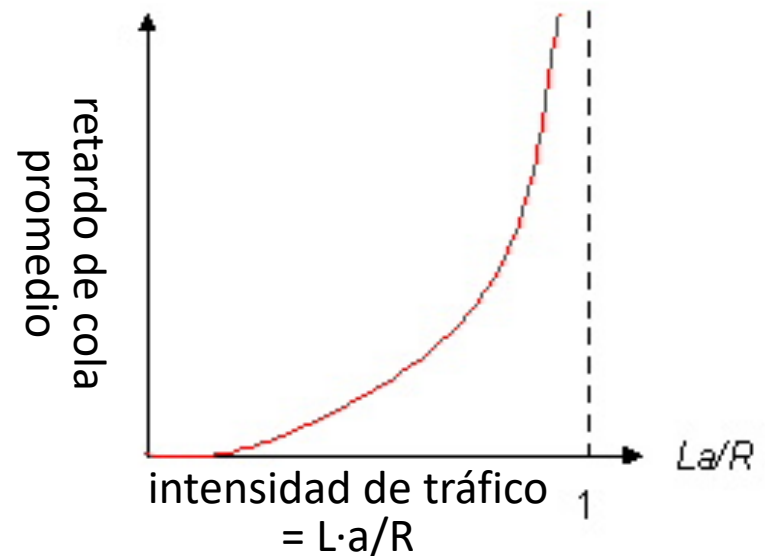
$$d_{\text{prop}} = d/s$$



# Rendimiento

## Retardo de cola

- R: ancho de banda del enlace (bps).
  - L: longitud del paquete (bits).
  - a: tasa de llegada de paquetes promedio (paquetes por segundo).
- 
- $L \cdot a / R \sim 0$ : retardo de cola promedio pequeño.
  - $L \cdot a / R \rightarrow 1$ : retardo de cola promedio grande.
  - $L \cdot a / R > 1$ : llegan más paquetes de lo que se puede servir, retardo de cola infinito!



$L \cdot a / R \sim 0$

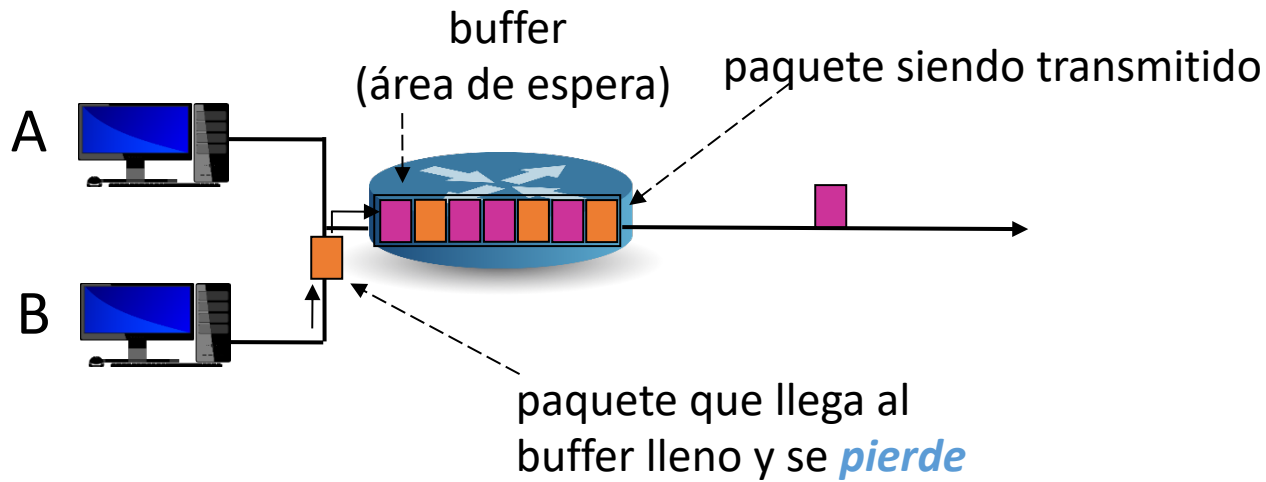


$L \cdot a / R \rightarrow 1$

# Rendimiento

## Pérdida de paquetes

- La cola (buffer) asociada a un enlace tiene una capacidad finita.
- Los paquetes que llegan a una cola llena se descartan (*drop*) (se pierden).
- Los paquetes descartados pueden ser retransmitidos por el sistema terminal origen, por el nodo previo o por nadie.

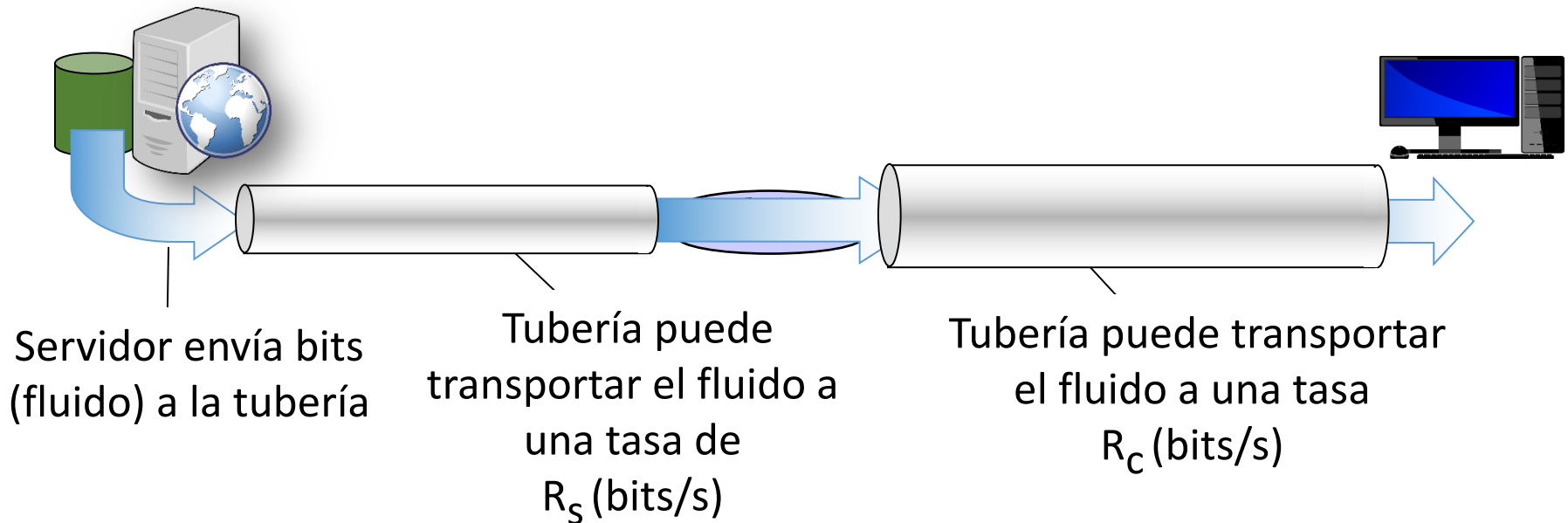


# Rendimiento

## Tasa de transferencia (extremo a extremo)

Tasa de transferencia (*throughput*): tasa (bits/unidad de tiempo) a la cual los bits son transferidos entre el cliente y el servidor.

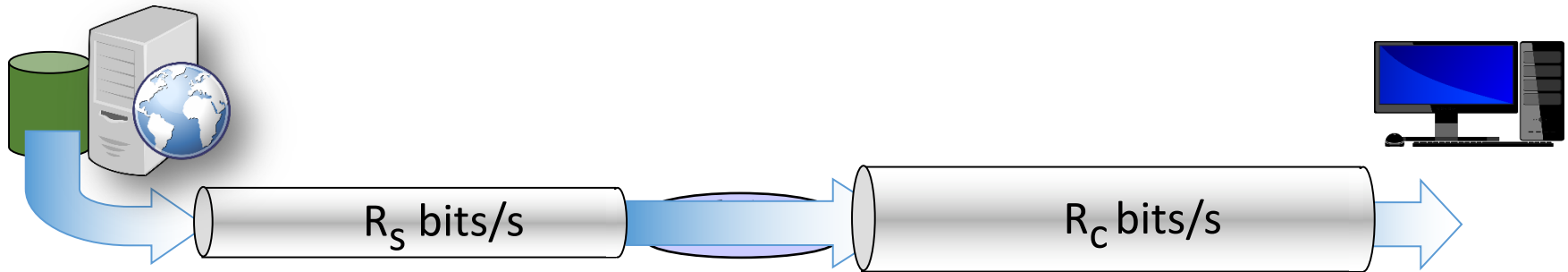
- Instantánea: tasa en un instante de tiempo determinado.
- Promedio: tasa medida a lo largo de un periodo de tiempo.



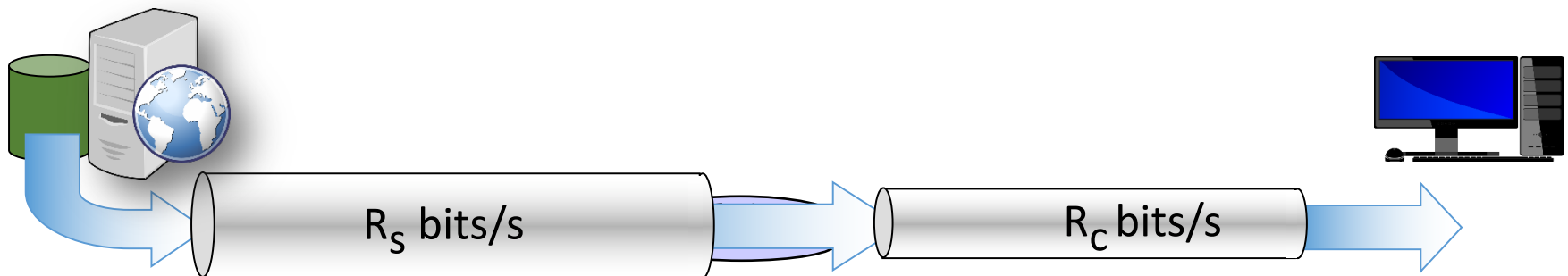
# Rendimiento

## Tasa de transferencia (extremo a extremo)

Si  $R_s < R_c$ , ¿tasa de transferencia promedio de terminal a terminal?



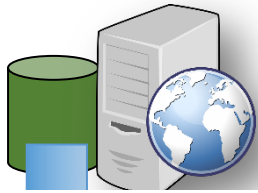
Si  $R_s > R_c$ , ¿tasa de transferencia promedio de terminal a terminal?



# Rendimiento

## Tasa de transferencia (extremo a extremo)

Si  $R_s < R_c$ , ¿tasa de transferencia promedio de terminal a terminal?



*enlace cuello de botella*

Es el enlace en la ruta de extremo a extremo el que limita la tasa de transferencia extremo a extremo.



$R_s$  bits/s

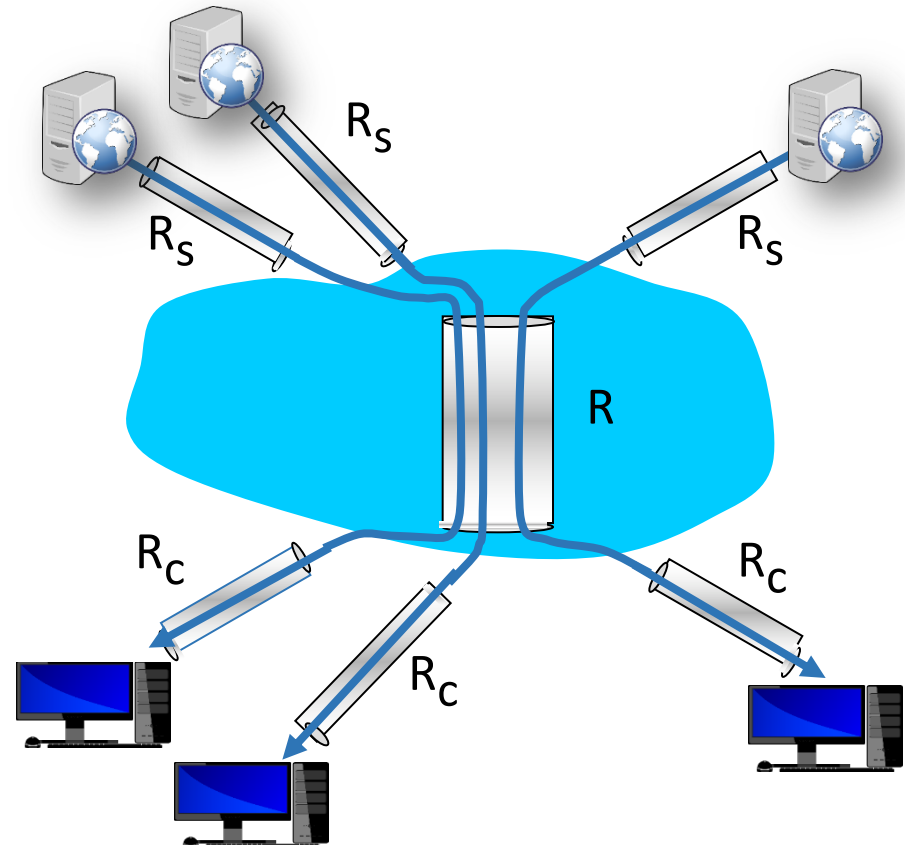
$R_c$  bits/s

# Rendimiento

## Tasa de transferencia: escenario de Internet

- Tasa de transferencia terminal a terminal por conexión:  $\min(R_c, R_s, R/10)$
- En la práctica:  $R_c$  o  $R_s$  es a menudo el cuello de botella

La tasa de transferencia no depende sólo de las velocidades de transmisión de los enlaces sino también del tráfico existente. Aunque la velocidad de transmisión del enlace sea alta puede ser el cuello de botella si hay mucho flujo de datos atravesando ese enlace.



10 conexiones comparten el enlace común (en partes iguales) con velocidad  $R$  bits/s



# Tema 1: Redes de Computadores e Internet

## Objetivos

- Toma de contacto y terminología
- Mayor profundidad, detalles más tarde en el curso
- Enfoque: usar Internet como ejemplo

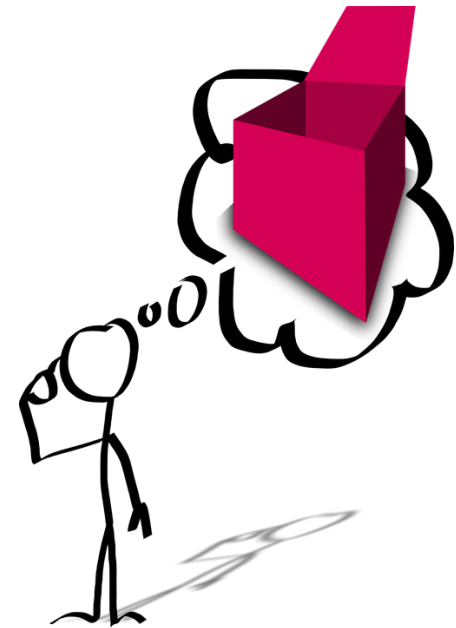
## Contenido

1. ¿Qué es Internet?
2. ¿Qué es un protocolo?
3. La frontera de la red: equipos, redes de acceso, medios físicos
4. El núcleo de la red: conmutación de paquetes/circuitos, arquitectura de Internet
5. Rendimiento: pérdidas, retardos, tasa de transferencia (redes de conmutación de paquetes)
6. **Capas de protocolos, modelos de servicio**
7. Historia

# Capas de protocolos, modelos de servicio

Las redes son complejas, con muchas “piezas”:

- Sistemas terminales
- Routers
- Enlaces de varios medios
- Aplicaciones
- Protocolos
- Software
- Hardware

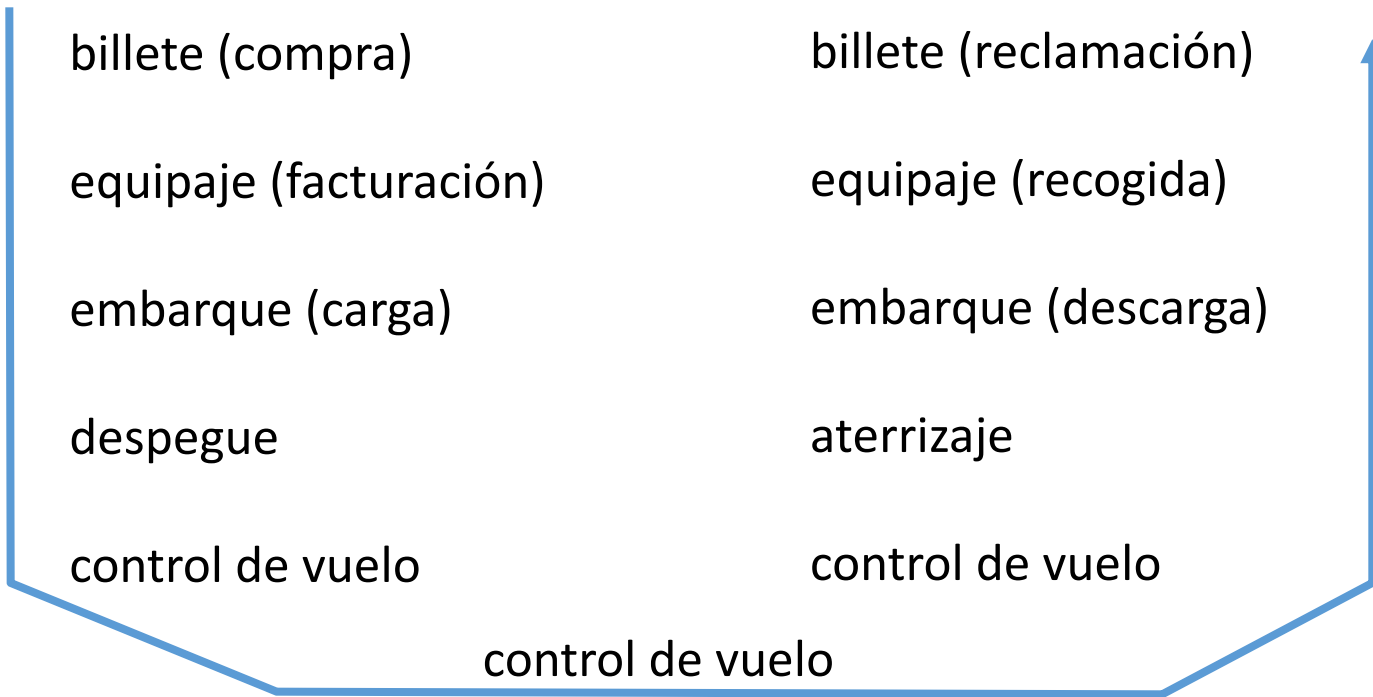


¿Tenemos alguna esperanza de poder organizar una arquitectura de red?

¿o al menos nuestra exposición sobre la misma?

# Capas de protocolos, modelos de servicio

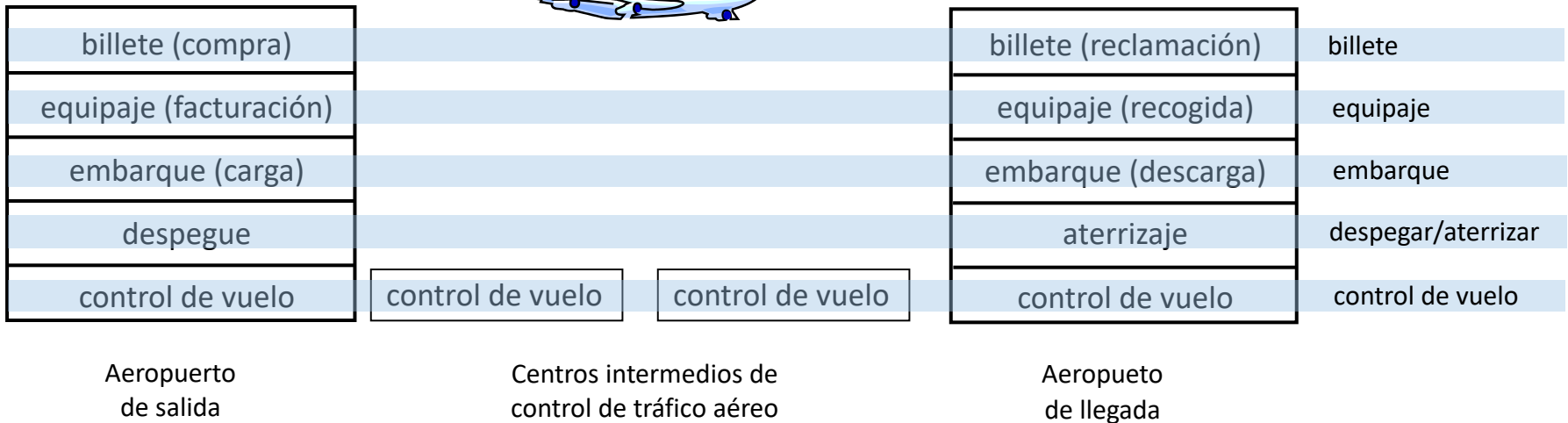
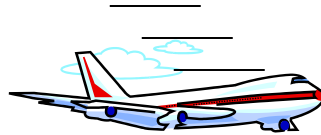
## Símil con la organización de un viaje en avión



Un conjunto de pasos...

# Capas de protocolos, modelos de servicio

## Símil con la organización de un viaje en avión



**Capas o niveles:** cada capa implementa un servicio...

- llevando a cabo determinadas acciones dentro de dicha capa
- utilizando los servicios que proporciona la capa que tiene directamente debajo de ella

# Capas de protocolos, modelos de servicio

## ¿Por qué una arquitectura en capas?

Los sistemas son complejos:

- Una estructura específica permite identificar y relacionar las partes complejas del sistema
  - Un **modelo de referencia** en capas para análisis y discusión
- La modularización simplifica el mantenimiento y la actualización del sistema
  - Modificar la implementación del servicio de una capa es transparente al resto del sistema
  - P.e., cambio en el procedimiento de embarque no afecta al resto del sistema

# Capas de protocolos, modelos de servicio

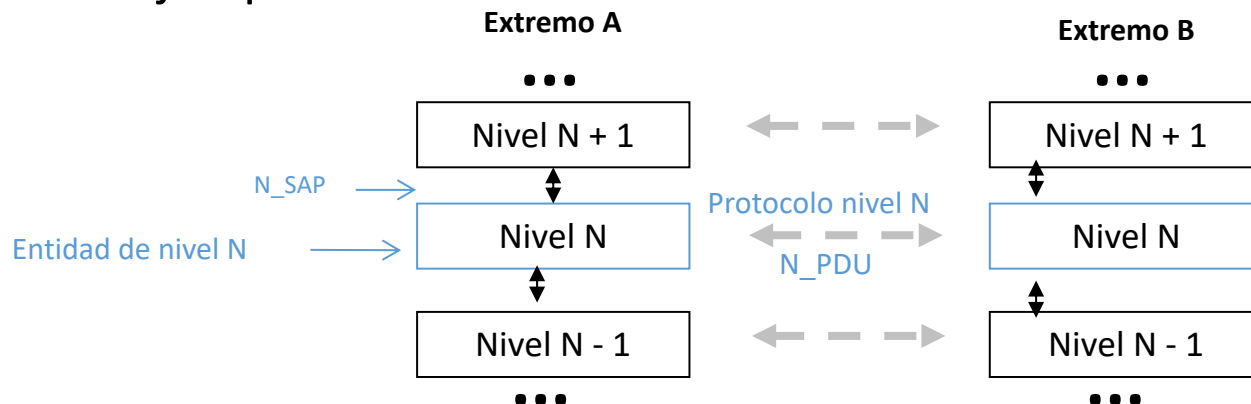
## ¿Cómo se organiza una arquitectura en capas?

- En cada extremo debe haber una instancia de un determinado nivel, conocido como **entidad**.
- Cada nivel realiza un conjunto de tareas, conocidas como **funciones**
  - No todas las funciones se realizan en cada extremo de la comunicación.
    - P.e., en la capa de equipaje está la función de facturación y la de recogida.
- Cada nivel ofrece un conjunto de prestaciones (proveedor) al nivel superior (usuario), conocidas como **servicios**
  - P.e., el servicio de facturación.
  - El acceso a los servicios de un determinado nivel se realiza a través de una interfaz conocida como SAP (Service Access Point).

# Capas de protocolos, modelos de servicio

## ¿Cómo se organiza una arquitectura en capas?

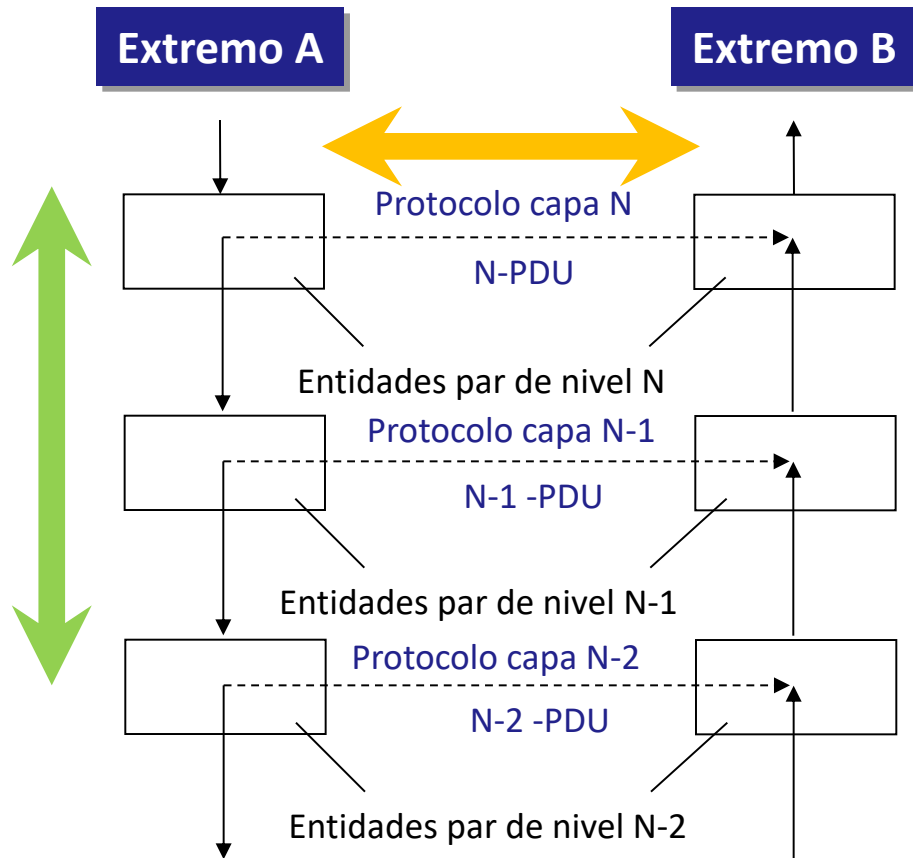
- En cada nivel se utiliza un determinado **protocolo** para comunicarse con otra entidad del mismo nivel, ofrecer los servicios a su nivel superior y realizar la funciones que tiene encomendadas.
  - Usa los servicios que le ofrece el nivel inferior.
- En el protocolo se describe:
  - el formato de los mensajes a intercambiar → PDU (Protocol Data Unit)
  - las reglas de intercambio de mensajes.
- Ejemplo



**Nota**  
Un nivel puede ofrecer distintos servicios. Cada uno usará su propio protocolo

# Capas de protocolos, modelos de servicio

## Arquitectura en capas



¿Cuál es el flujo de información?

**Real:**

- Entre niveles adyacentes.
- A través del SAP.
- Comunicación vertical.
- Las PDUs se tienen que encapsular y desencapsular.
- En el mismo equipo.

**Lógica:**

- Entre entidades pares.
- Comunicación horizontal
- Entre diferentes equipos.
- Se intercambian PDU.

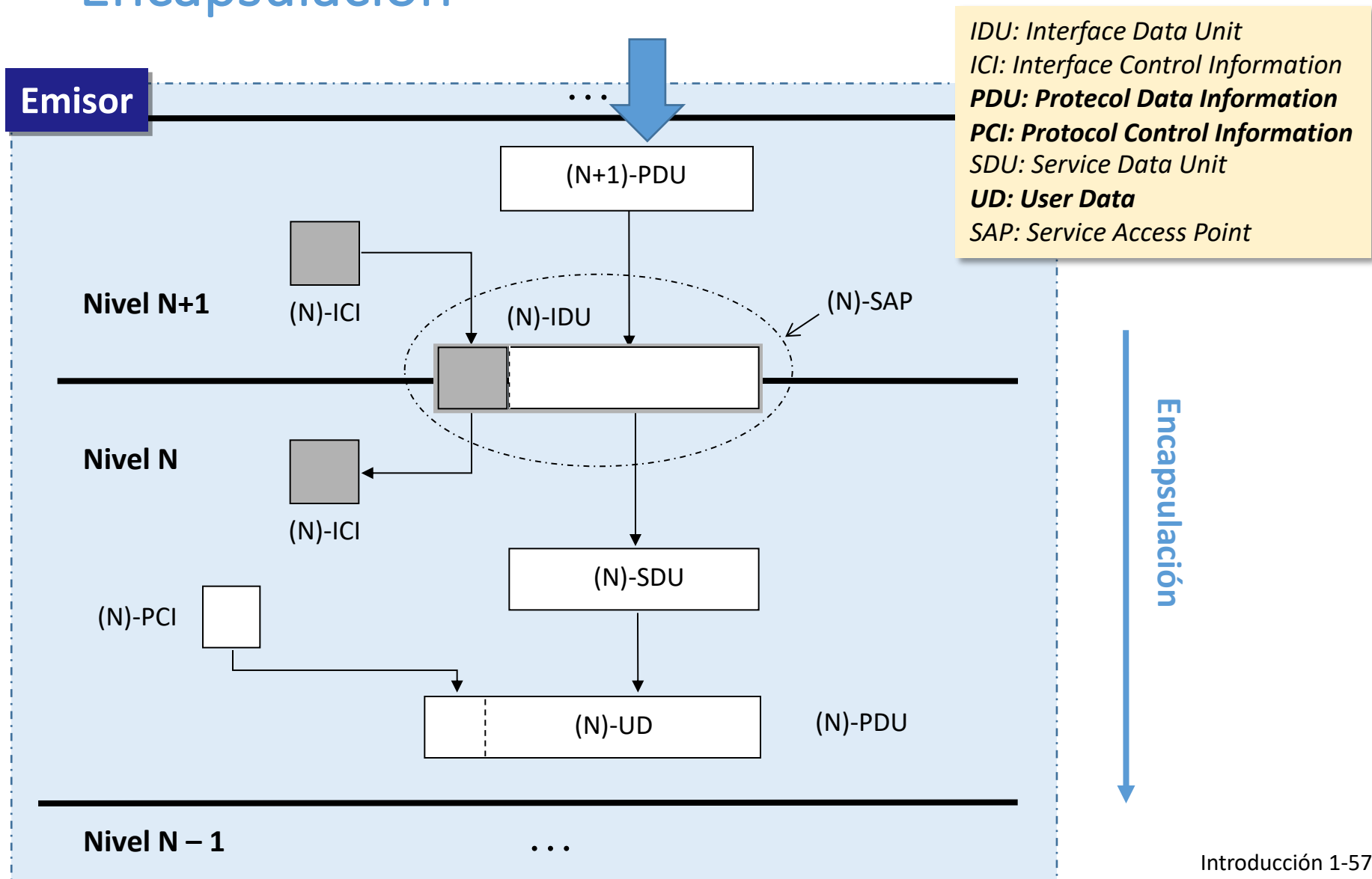
### Nota

A las entidades de un mismo nivel se conocen como **entidad par**



# Capas de protocolos, modelos de servicio

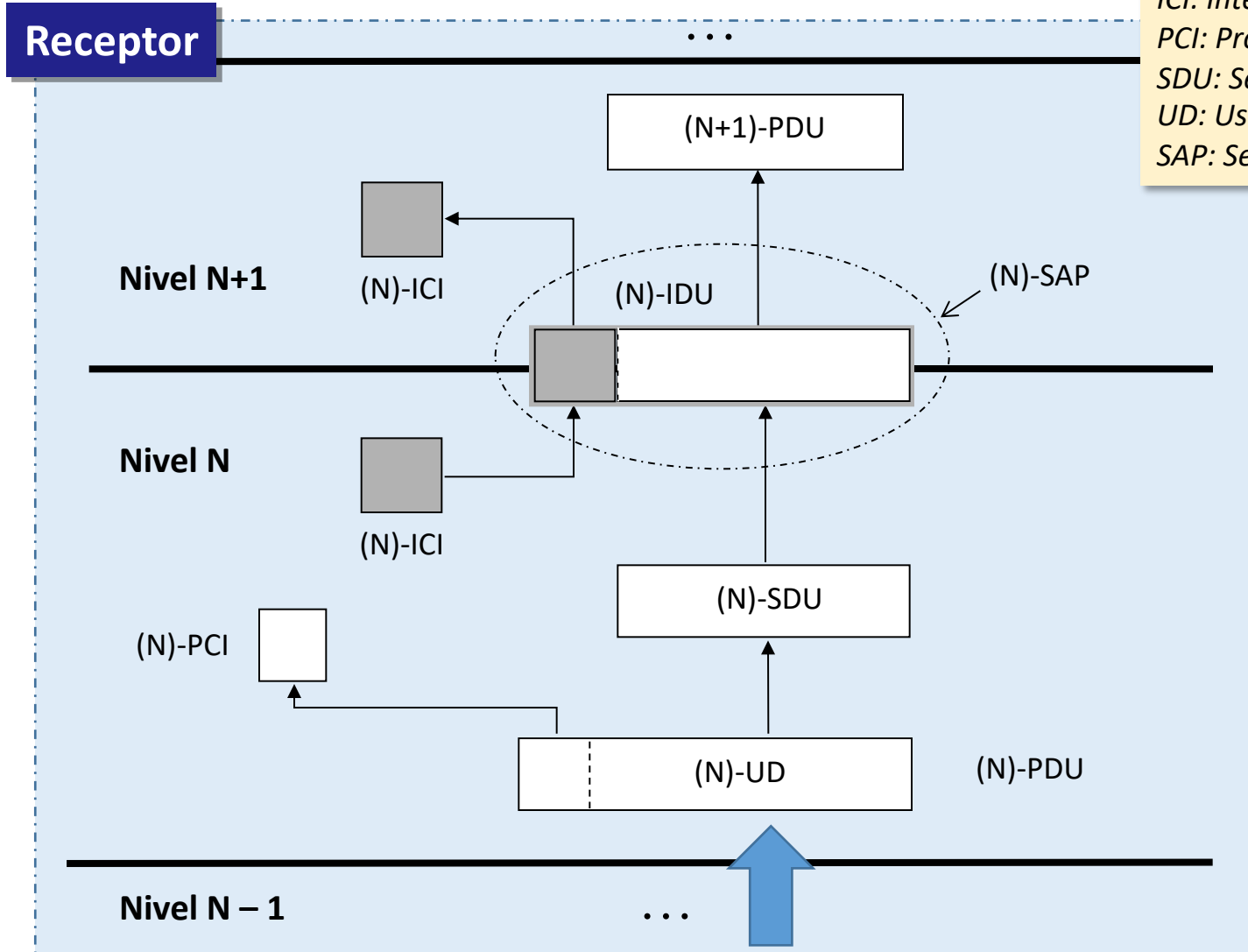
## Encapsulación



# Capas de protocolos, modelos de servicio

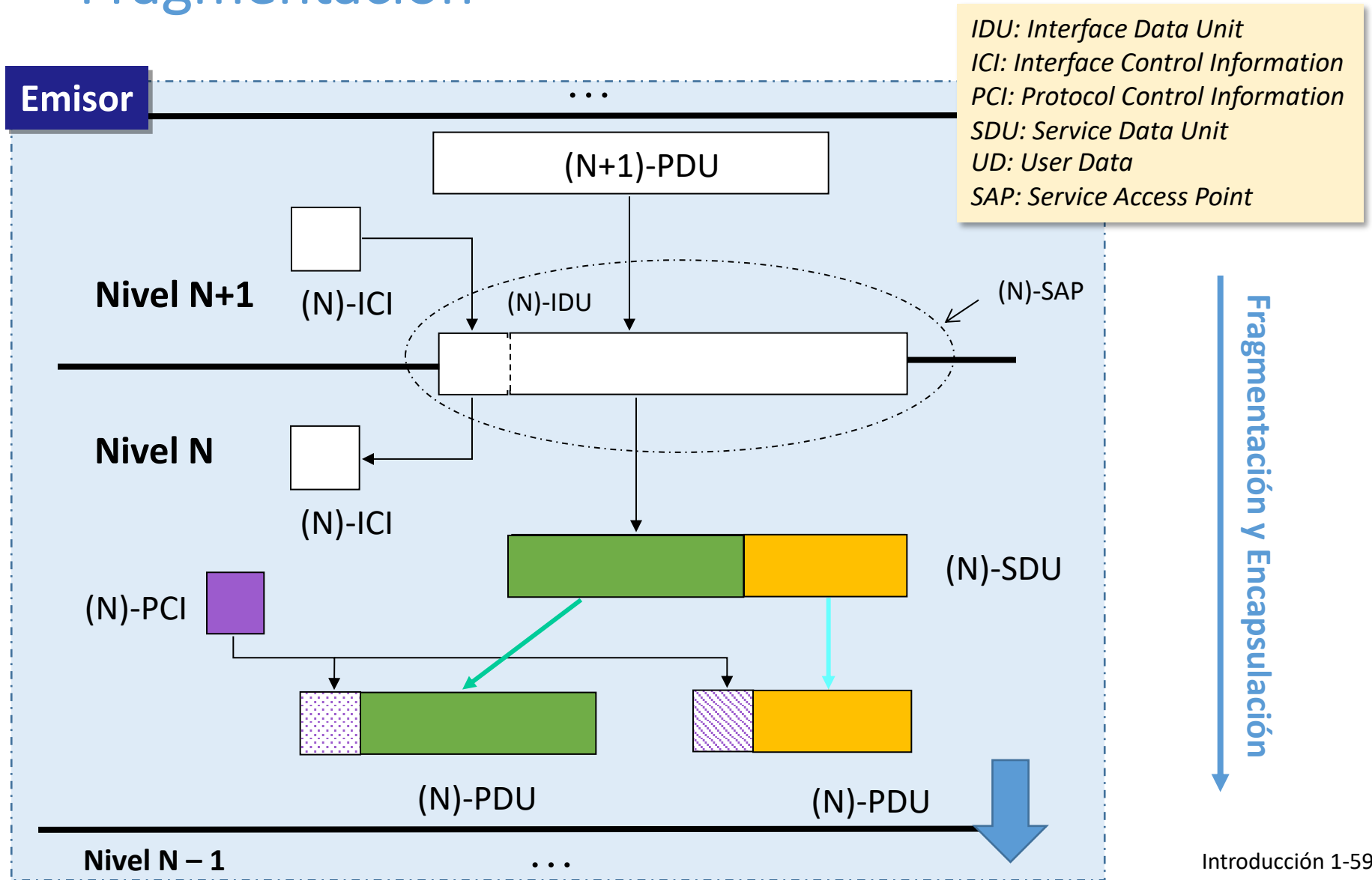
## Desencapsulación

*IDU: Interface Data Unit*  
*ICI: Interface Control Information*  
*PCI: Protocol Control Information*  
*SDU: Service Data Unit*  
*UD: User Data*  
*SAP: Service Access Point*



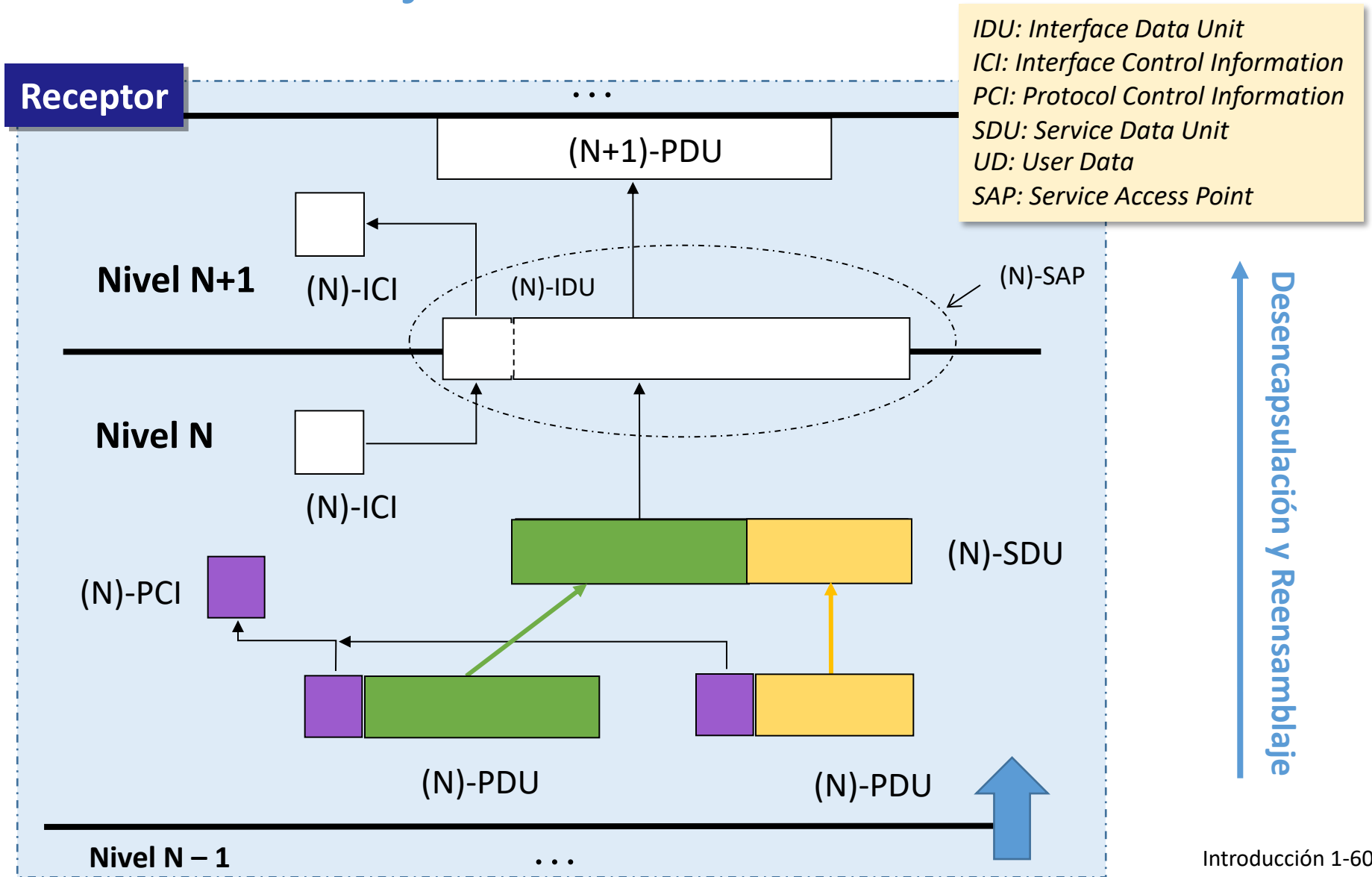
# Capas de protocolos, modelos de servicio

## Fragmentación



# Capas de protocolos, modelos de servicio

## Reensamblaje



# Capas de protocolos, modelos de servicio

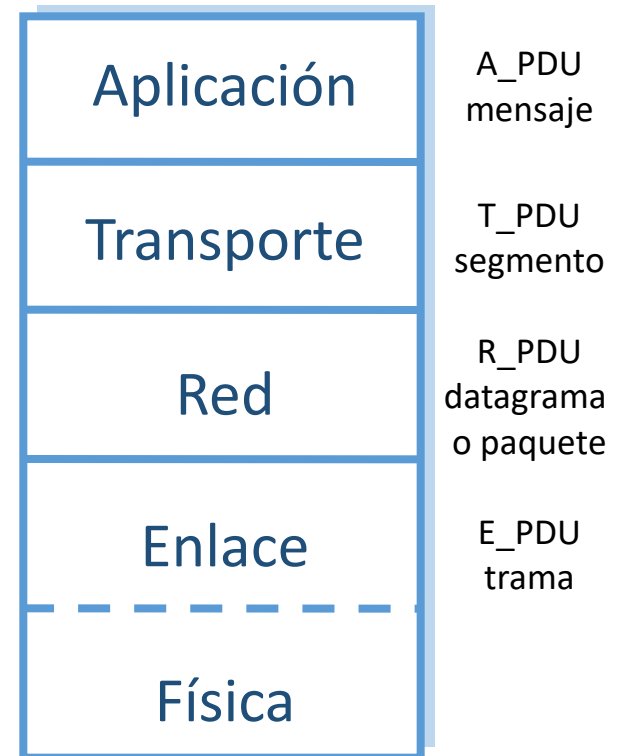
## ¿Cuántas capas son necesarias?

- Depende del conjunto de funciones que se desee que tenga la arquitectura de red.
- Dos arquitecturas de red:
  - **TCP/IP**
    - Es la utilizada en Internet.
    - Se compone de cinco capas.
    - Describe funciones, servicios y protocolos
  - **Modelo de referencia OSI** (Open System Interconnection).
    - Se compone de siete capas.
    - Estándar de ISO (International Organization for Standardization).
    - Describe funciones y servicios.

# Capas de protocolos, modelos de servicio

## Pila de protocolos de Internet (TCP/IP)

- **Aplicación**: soporta las aplicaciones de red. Sirve de interfaz con el usuario final
  - FTP, SMTP, HTTP, DNS
- **Transporte**: transferencia de datos extremo a extremo entre procesos
  - TCP, UDP
- **Internet o Red**: direccionamiento y enrutado de datagramas de origen a destino
  - IP, protocolos de rutado
- **Enlace**: transferencia de datos entre elementos de red “cercaos”
  - Ethernet, 802.11 (WiFi), PPP
- **Física**: bits “en el cable”
  - Ethernet (conectores y cables)



# Capas de protocolos, modelos de servicio

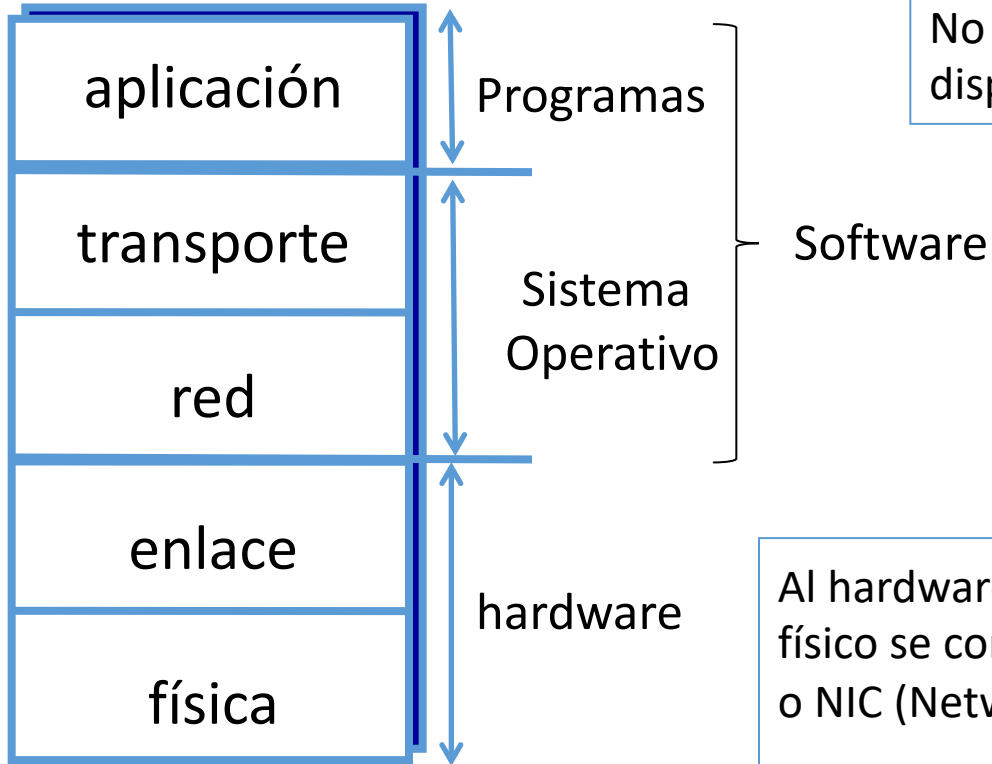
## Modelo de referencia ISO/OSI

- **Presentación**: permite que las aplicaciones interpreten el significado de los datos, ej., encriptación, compresión, codifica datos en modo estándar
- **Sesión**: sincronización, puntos de comprobación, recuperación del intercambio de datos
- La pila de Internet “omite” estas capas...
  - Si son necesarios estos servicios, deben ser implementados en aplicación
  - ¿Son necesarios?



# Capas de protocolos, modelos de servicio

## ¿Cómo se implementan las capas?



### Nota

No todos los niveles están en todos los dispositivos que se usan en Internet.

### Nota

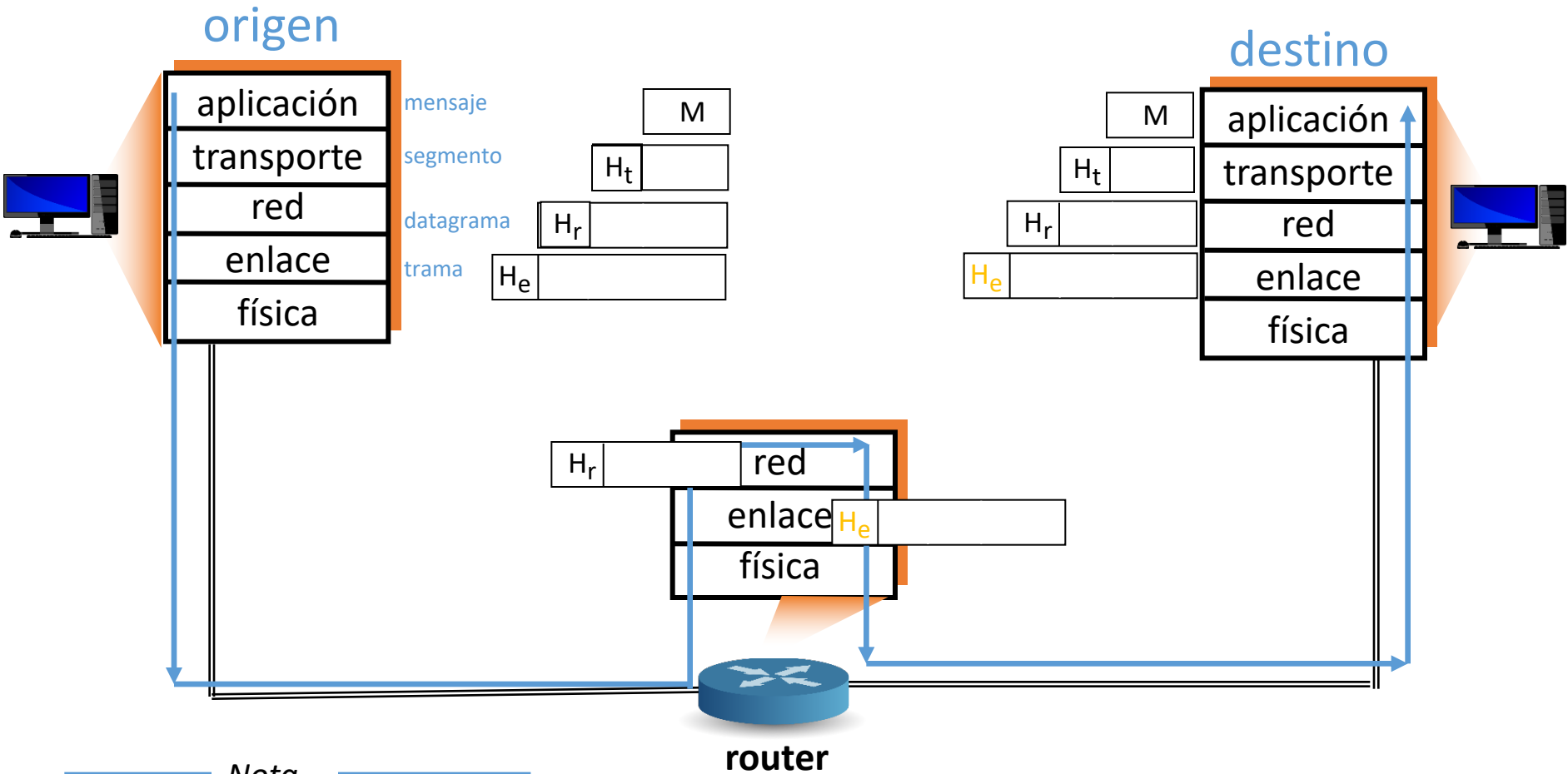
Al hardware que implementa el nivel de enlace y físico se conoce como **interfaz de red**, tarjeta de red o NIC (Network Interface Card).





# Capas de protocolos, modelos de servicio

## Ejemplo de dos sistemas finales interconectados por un router



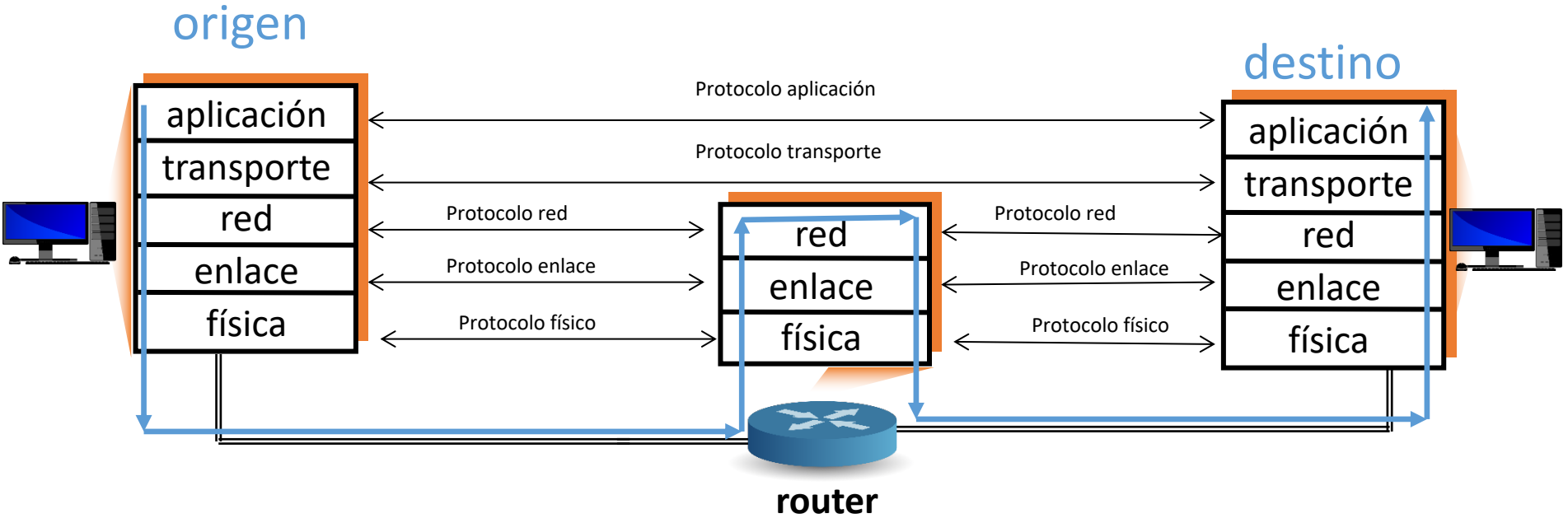
**Nota**

$H_x = X\_PCI$   
 $M = A\_PCI(H_a) + \text{Datos Usuario (UD)}$   
**Ejemplo UD:**  
 Asunto/cuerpo de un e\_mail  
 Texto de un mensaje WhatsApp

Medio físico

# Capas de protocolos, modelos de servicio

Ejemplo de dos sistemas finales interconectados por un router



# Tema 1: Redes de Computadores e Internet

## Objetivos

- Toma de contacto y terminología
- Mayor profundidad, detalles más tarde en el curso
- Enfoque: usar Internet como ejemplo

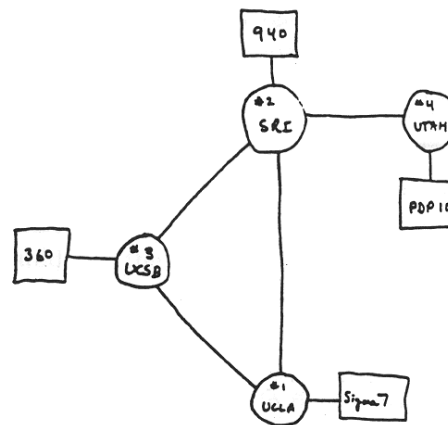
## Contenido

1. ¿Qué es Internet?
2. ¿Qué es un protocolo?
3. La frontera de la red: equipos, redes de acceso, medios físicos
4. El núcleo de la red: conmutación de paquetes/circuitos, arquitectura de Internet
5. Rendimiento: pérdidas, retardos, tasa de transferencia (redes de conmutación de paquetes)
6. Capas de protocolos, modelos de servicio
7. **Historia**

# Historia de Internet

## *1961-1972: principios de la conmutación de paquetes*

- **1961:** Kleinrock – teoría de colas muestra la eficacia de la conmutación de paquetes
- **1964:** Baran – conmutación de paquetes en redes militares
- **1967:** ARPAnet concebido por la Advanced Research Projects Agency
- **1969:** primer nodo ARPAnet operacional
- **1972:**
  - demostración pública ARPAnet
  - NCP (Network Control Protocol) primer protocolo de equipo a equipo
  - primer programa de correo electrónico
  - ARPAnet tiene 15 nodos



THE ARPA NETWORK

# Historia de Internet

## *1972-1980: interconexión de redes, redes nuevas y propietarias*

- **1970:** red de satélite ALOHAnet en Hawaii
- **1974:** Cerf and Kahn - arquitectura para interconectar redes
- **1976:** Ethernet de Xerox PARC
- **finales 70's:** arquitecturas propietarias: DECnet, SNA, XNA
- **finales 70's:** conmutación de paquetes de longitud fija (precursor ATM)
- **1979:** ARPAnet tiene 200 nodos

### Cerf and Kahn's principios de la interconexión de redes:

- minimalismo, autonomía – no se requieren cambios internos para interconectar redes
- modelo de mejor esfuerzo
- stateless routers
- control descentralizado

define la arquitectura de Internet actual

# Historia de Internet

*1980-1990: nuevos protocolos, proliferación de redes*

- **1983:** despliegue de TCP/IP
- **1982:** se define el protocolo SMTP (correo electrónico)
- **1983:** se define DNS para la traducción de nombre a dirección IP
- **1985:** se define el protocolo FTP
- **1988:** Control de la congestión TCP
- nuevas redes nacionales: Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100.000 equipos conectados a la confederación de redes

# Historia de Internet

## *1990, 2000's: comercialización, the Web, nuevas aplicaciones*

- principios 1990's: ARPAnet fuera de servicio
  - 1991: NSF levanta las restricciones sobre el uso comercial de NSFnet (fuera de servicio, 1995)
  - principios 1990s: Web
    - hipertexto [Bush 1945, Nelson 1960's]
    - HTML, HTTP: Berners-Lee
    - 1994: Mosaic, más tarde Netscape
    - finales 1990's: comercialización de la Web
- finales 1990's – 2000's:
    - más aplicaciones: mensajería instantánea, compartición de ficheros P2P
    - seguridad de la red en primer plano
    - est. 50 millones equipos, más de 100 millones usuarios
    - enlaces backbone funcionando a Gbps

# Historia de Internet

2019:

- ~ 4.388 millones de usuarios <sup>[1]</sup>
- voz, video sobre IP
- aplicaciones P2P: BitTorrent (compartir ficheros), Skype (VoIP), Roku (streaming video)
- más aplicaciones: YouTube, gaming, Twitter
- conexión inalámbrica, movilidad
- IoT (*Internet of Things*)

[1] <https://wearesocial.com/blog/2019/01/digital-2019-global-internet-use-accelerates>



# Contenidos

Tema 1: Redes de Computadores e Internet

**Tema 2: Capa de Aplicación**

Tema 3: Capa de Transporte

Tema 4: Capa de Red

Tema 5: Capa de Enlace de Datos

# Redes de Computadores

## Tema 1

Redes de Computadores e Internet

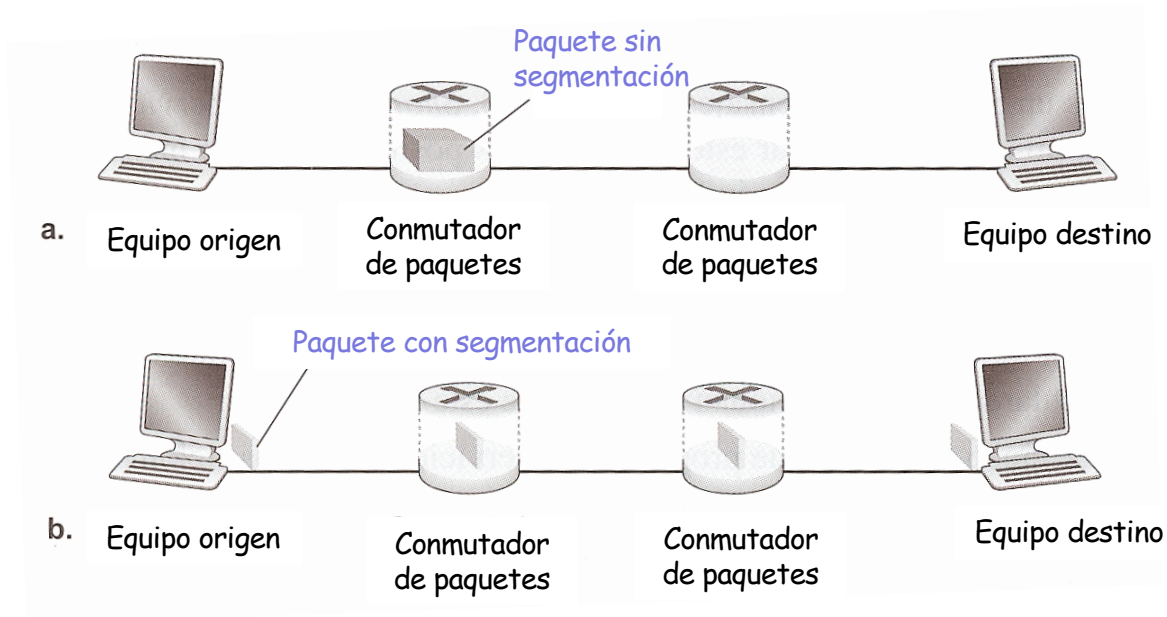
**EJERCICIOS**



# Encapsulamiento y fragmentación

Suponga que, en el modelo OSI, un protocolo de nivel de enlace de datos tiene limitado el tamaño máximo de la E\_SDU a 1000 bytes, y que el protocolo de nivel de red no limita el tamaño máximo de las R\_SDUs a su nivel superior. Si las T\_PDUs tienen siempre un tamaño de 2000 bytes y la R\_PCI ocupa 100 bytes, ¿Cuántas R\_PDUs enviará el nivel de red? ¿Qué contendrá cada R\_PDU ? (Nota: Las R\_PDUs que se envíen deben ser del tamaño máximo posible)

# Segmentación



# Segmentación

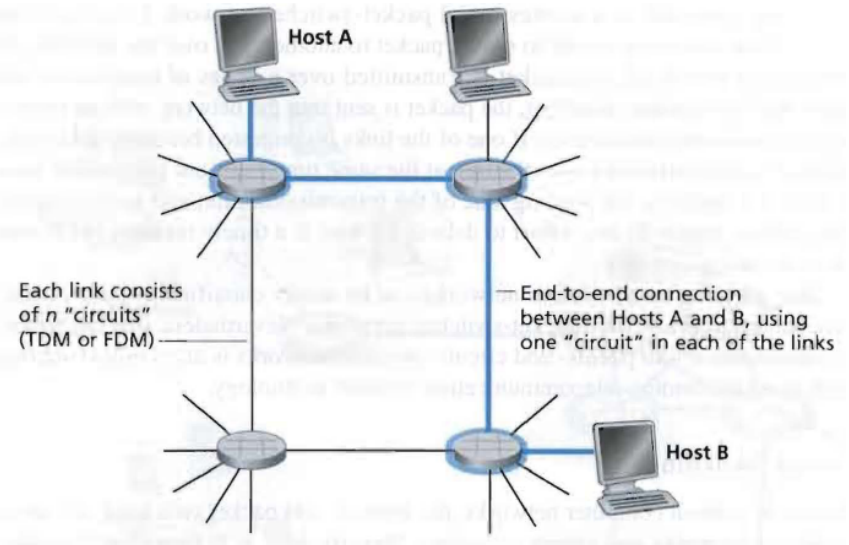
Considerad que se envía un mensaje cuya longitud es  $8 \times 10^6$  bits desde el origen hasta el destino mostrados en la figura anterior. Suponed que cada enlace mostrado es de 2 Mbps. Ignorad los retardos de propagación, de cola y de procesamiento.

- a) Suponed que el mensaje se transmite desde el origen al destino sin segmentarlo. ¿Cuánto tarda el mensaje en desplazarse desde origen hasta el primer router? Teniendo en cuenta que cada router usa el método de store and forward, ¿cuál es el tiempo total que invierte el mensaje para ir desde el equipo origen al destino?
- b) Suponed que el mensaje se segmenta en 4000 paquetes y que la longitud de cada uno es 2000 bits. ¿Cuánto tarda el primer paquete en desplazarse desde el origen hasta el primer router? Cuando se está enviando el primer paquete del primer router al segundo, el host de origen envía un segundo paquete al router, ¿en qué instante de tiempo habrá recibido el primer router el segundo paquete completo?
- c) ¿Cuánto se tarda en transmitir el mensaje completo desde el host origen al destino cuando se emplea la segmentación de mensajes? Comparad este resultado con la respuesta del primer apartado y comentadlo.
- d) ¿Cuáles creéis que son los inconvenientes de la segmentación de mensajes?

# TDM

¿Cuánto se tarda en enviar un fichero de 640000 bits (640 Kb) desde un sistema final A al B sobre una red de conmutación de circuitos?

- velocidades de todos los enlaces: 1,536 Mbps.
- cada enlace usa TDM con 24 particiones/marco.
- 500 ms para establecer el circuito de terminación a terminal.



# Retardo de extremo a extremo

Considerar un paquete de longitud  $L$  transmitido por un sistema terminal A que pasa a través de tres enlaces hasta alcanzar el sistema terminal destino. Los tres enlaces se conectan a través de dos routers en una red de conmutación de paquetes. Considerando que  $d_i$ ,  $s_i$  y  $R_i$  denotan la longitud, la velocidad de propagación y la velocidad de transmisión del enlace  $i$ , para  $i=1,2,3$ , que los routers retrasan cada paquete  $d_{proc}$ , y asumiendo que no hay retardos de colas, en términos de  $d_i$ ,  $s_i$  y  $R_i$  ( $i=1,2,3$ ) y  $L$ , ¿cuál el retardo total de extremo a extremo para el paquete?

Suponer ahora que la longitud del paquete es 1500 bytes, la velocidad de propagación en los enlaces es  $2.5 \times 10^8$  m/s, la velocidad de transmisión es 2 Mbps, el retardo de procesamiento del router es 3 ms, la longitud del primer enlace es 5000 km, la del segundo 4000 km y la del tercero 1000 km. Para estos valores, ¿cuál es el retardo de extremo a extremo?

# Retardo de cola

Un router en una red conmutación de paquetes recibe un paquete y determina el enlace de salida al cual el paquete debe reenviarse. Cuando el paquete llega, otro paquete se está transmitiendo por ese enlace de salida (la mitad se ha transmitido) y tres más están esperando para ser transmitidos. Los paquetes se transmiten por orden de llegada.

Suponiendo que todos los paquetes tiene una longitud de 1500 bytes y que la velocidad del enlace es de 2Mbps. ¿Cuál es el retardo de cola del paquete?

De forma general, ¿cuál es el retardo de cola cuando todos los paquetes tienen longitud  $L$ , la velocidad de transmisión es  $R$ ,  $x$  bits del paquete que se está transmitiendo se han transmitido, y  $n$  paquetes están ya en la cola?