

Introducción a las redes

Tema 1

Alcaraz, S., Roig, P.J.

Fundamentos de Redes de Telecomunicación
Grado en Ingeniería de Tecnologías de la Telecomunicación

Area de Arquitectura y Tecnología de Computadores
Departamento de Física y Arquitectura de Computadores
Universidad Miguel Hernández

`{salcaraz,proig}@umh.es`

05/01/2025



Después de abordar la unidad, el estudiante será capaz de:

- Conocer la terminología empleada en el desarrollo de las redes.
- Conocer los elementos fundamentales de un sistema de comunicaciones.
- Explicar la necesidad del uso de redes.
- Resumir los tipos de redes de comunicaciones de datos.
- Definir el término arquitectura basada en capas.
- Presentar un resumen, en general, de la arquitectura de Internet.
- Describir los modelos OSI y TCP/IP.
- Describir los principios de las redes de conmutación.
- Comprender los factores que afectan al rendimiento de las redes.
- Describir la conmutación de paquetes y conmutación de circuitos.

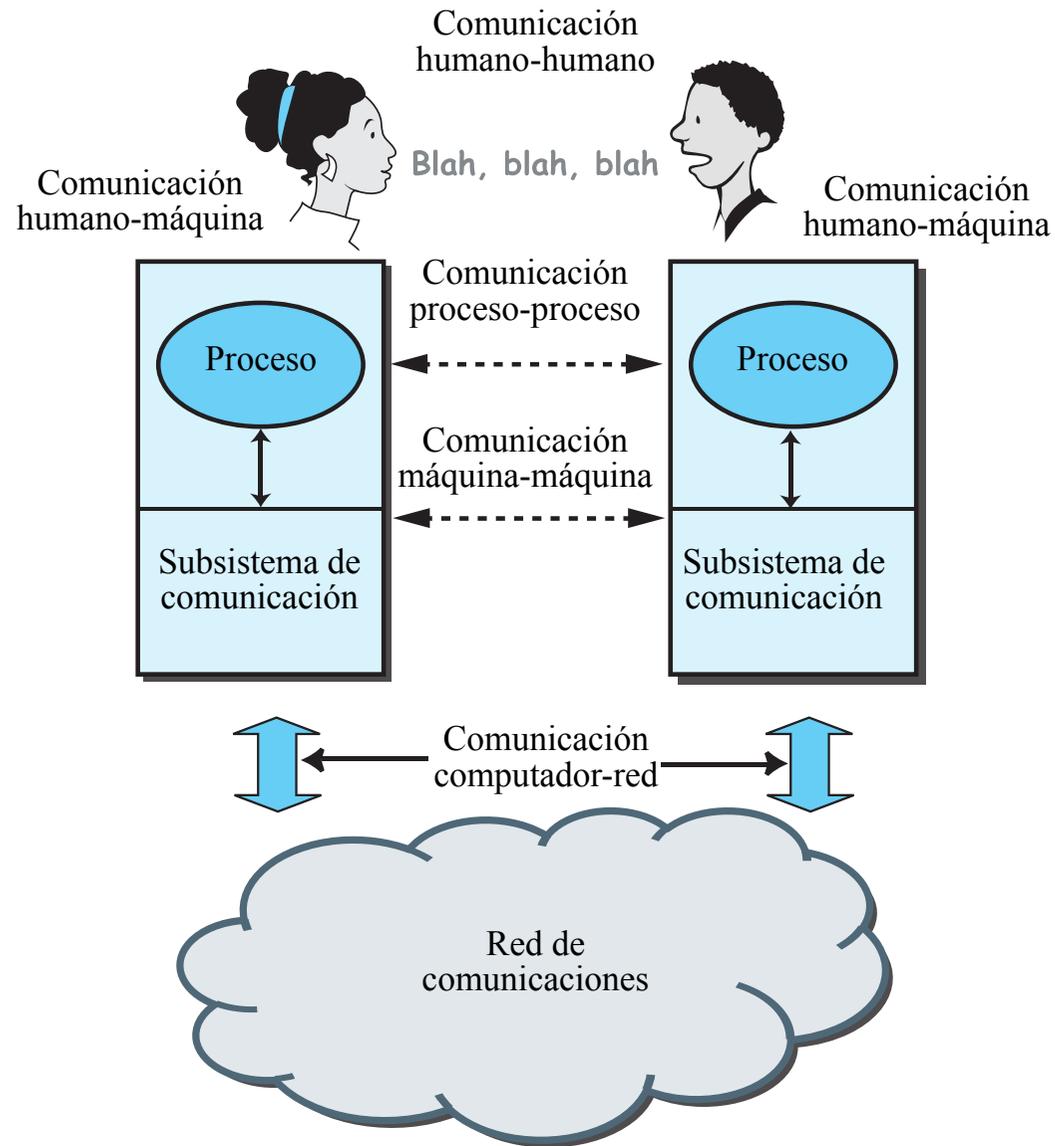
Introducción a las redes

1. Introducción
2. Terminología y clasificación
3. Redes de borde y núcleo
4. Modelo en capas
5. Modelos de referencia
6. Redes de conmutación
7. Rendimiento

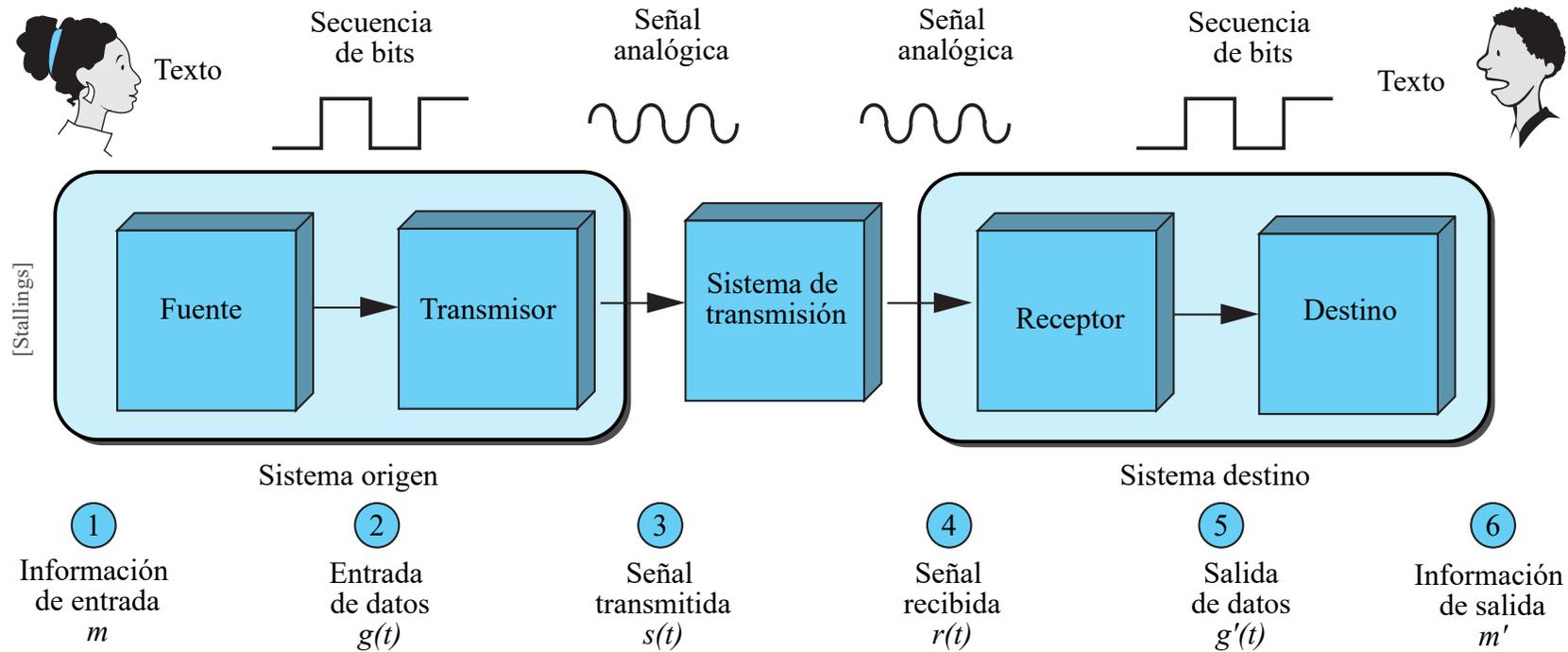
- 1. *Introducción***
2. Terminología y clasificación
3. Redes de borde y núcleo
4. Modelo en capas
5. Modelos de referencia
6. Redes de conmutación
7. Rendimiento



Comunicación entre dispositivos

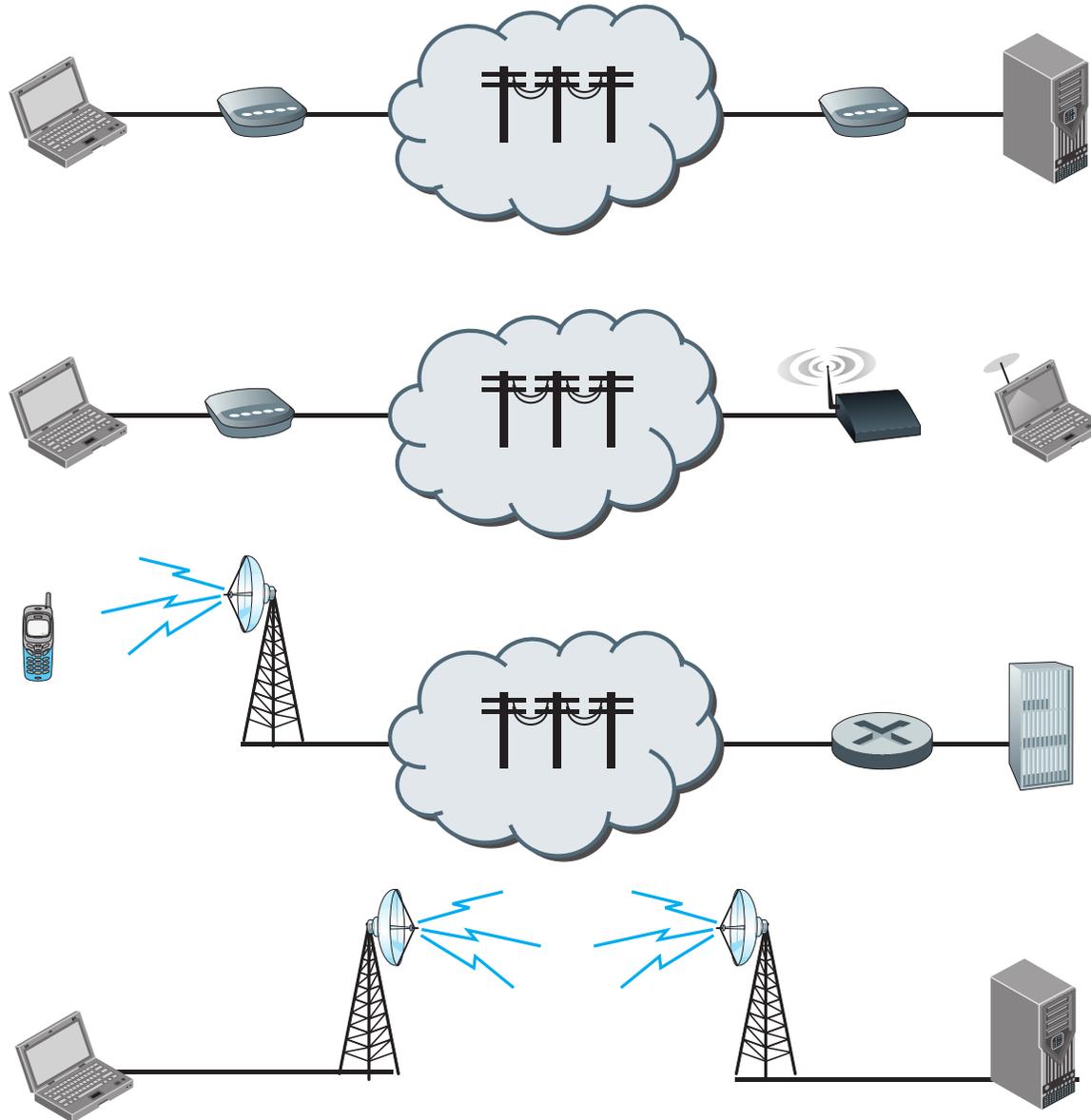


Modelo de sistema de comunicación



¿Qué relación hay entre m y m' ?, ¿son (exactamente) iguales m y m' ?

Modelo de sistema de comunicación: ejemplos



1. Introducción
- 2. Terminología y clasificación**
3. Redes de borde y núcleo
4. Modelo en capas
5. Modelos de referencia
6. Redes de conmutación
7. Rendimiento



Una **red** es la interconexión de un conjunto de dispositivos capaces de comunicar.

Dispositivos finales: PC, laptop, mainframe, smartpone, impresora, sensor, etc.

Dispositivos de interconexión: router, switch, modem, etc.

La interconexión se realiza mediante **enlaces**:

- Cableado
- Inalámbrico

Las **ventajas** del uso de las redes son:

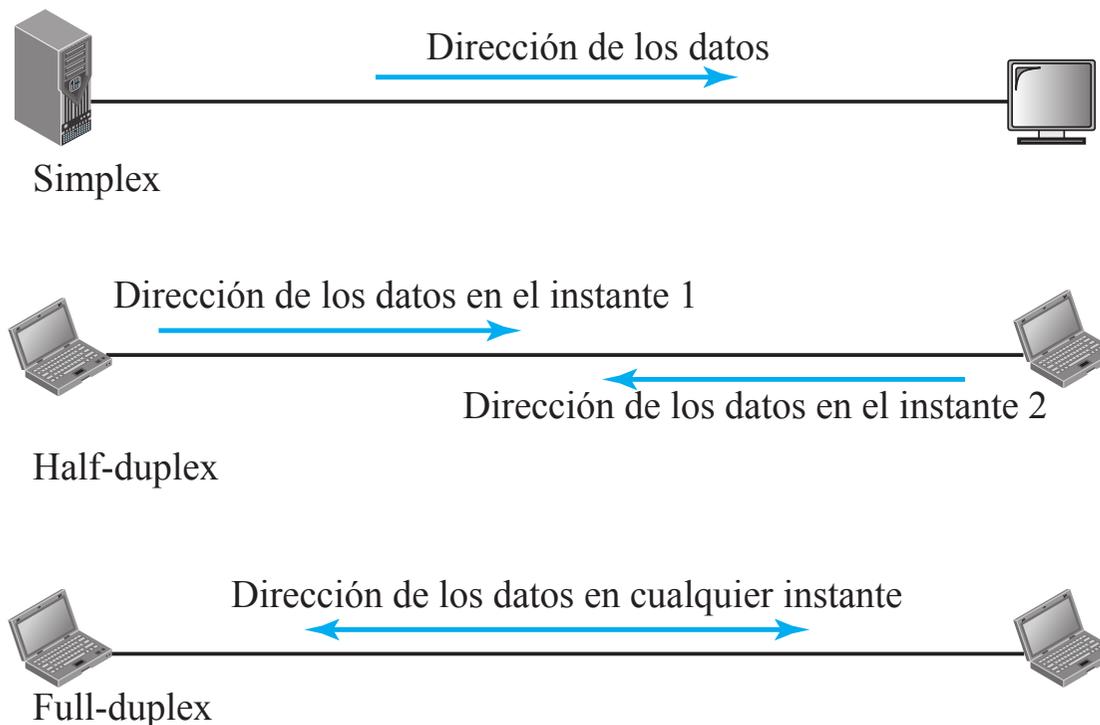
- Compartición de recursos.
- Tolerancia a fallos.
- Ahorro económico.
- Escalabilidad.
- Desarrollo social.
- Acceso geográfico ilimitado.

Y algunos de los **inconvenientes**:

- Accesos no autorizados.
- Violación de recursos.
- Propagación de virus.
- Fraudes electrónicos.



Flujo de datos

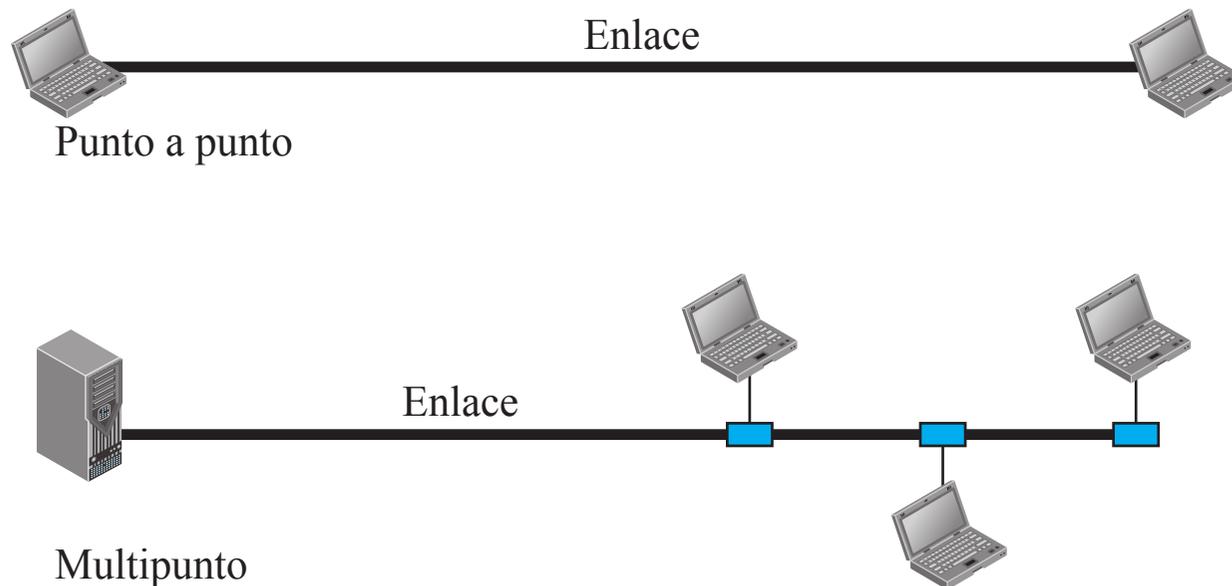


Simplex: En el modo simplex, la comunicación es unidireccional. Sólo uno de los dispositivos del enlace puede transmitir. Utiliza toda la capacidad del canal en una sólo dirección. Ejemplos: teclados, monitor, canales de fibra óptica.

Half-duplex: Ambos dispositivos pueden transmitir y recibir, pero no de forma simultánea. El modo half-duplex se utiliza cuando no es necesaria (o no se puede) la comunicación bidireccional de forma simultánea. Toda la capacidad del canal es utilizada para cada dirección. Ejemplo: walkie-talkies y radios de banda ciudadana.

Full-duplex: En modo full-duplex (también denominado **duplex**), ambas estaciones pueden transmitir y recibir simultáneamente. El modo full-duplex se utiliza cuando se necesita la comunicación en ambas direcciones al mismo tiempo. La capacidad del canal es compartida entre ambas direcciones. Ejemplo: teléfono.

Tipos de conexión



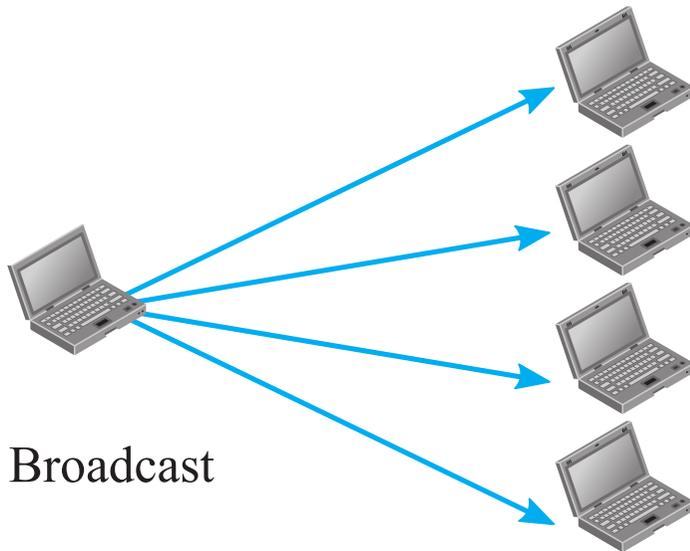
Punto a punto: proporciona un enlace dedicado entre dos dispositivos. La capacidad total del enlace es reservada para la comunicación de ambos dispositivos.

Multipunto: cuando hay más de dos dispositivos. La capacidad del canal es compartida por todos los dispositivos del enlace.

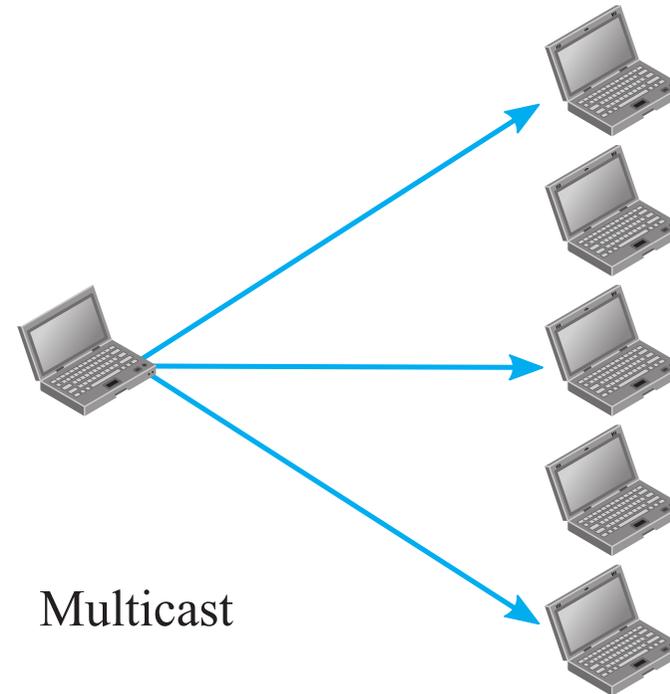
Tipos de comunicación



Unicast

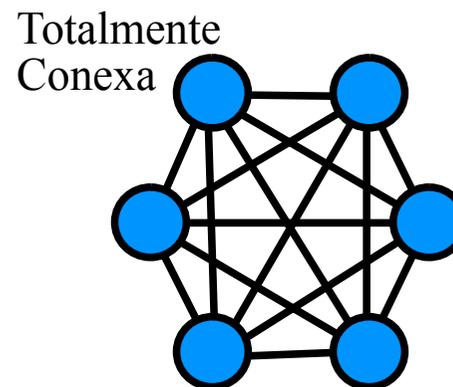
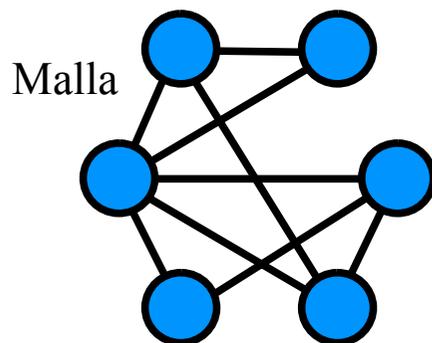
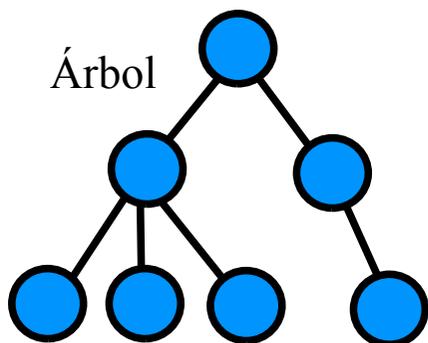
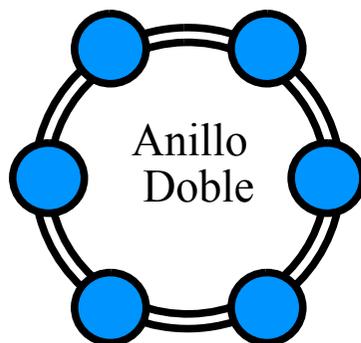
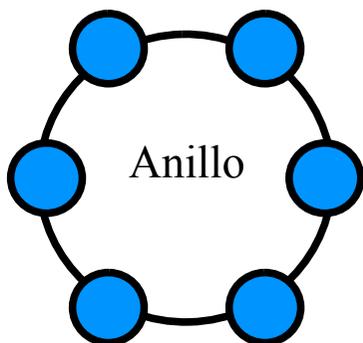
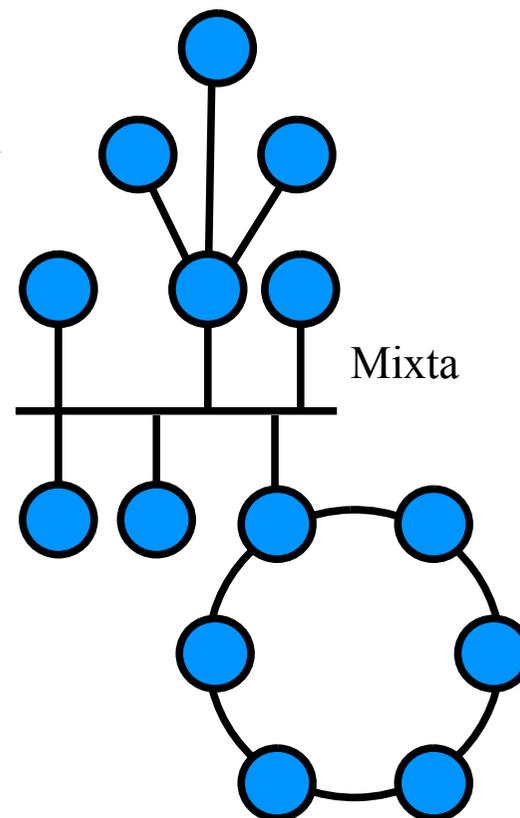
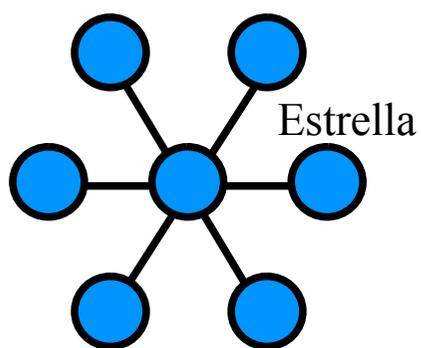
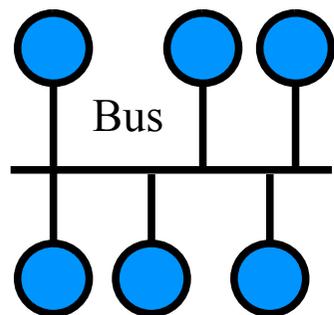


Broadcast



Multicast

Topologías



Malla

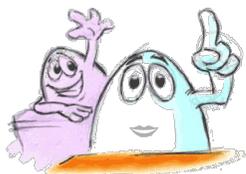
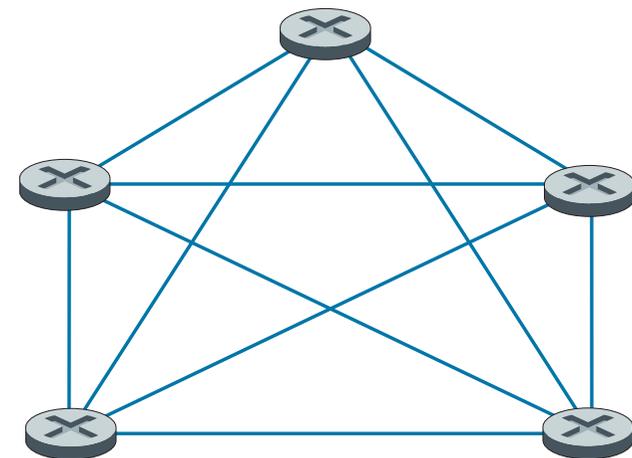
En la topología **malla**, todos los dispositivos están interconectados entre sí.

Ventajas:

- Enlace punto-a-punto entre todos los dispositivos.
- Eliminación de problemas de congestión de tráfico.
- Tolerancia a fallos.
- Mayor privacidad y seguridad.

Inconvenientes:

- Elevado nº de canales (cableado).
- Elevado nº de puertos de E/S: $\frac{n(n-1)}{2}$.
- Elevado coste económico.



Las redes en malla quedan restringidas a zonas de red de datos de altas prestaciones con caminos redundantes y conexionado telefónico entre estaciones de conmutación.

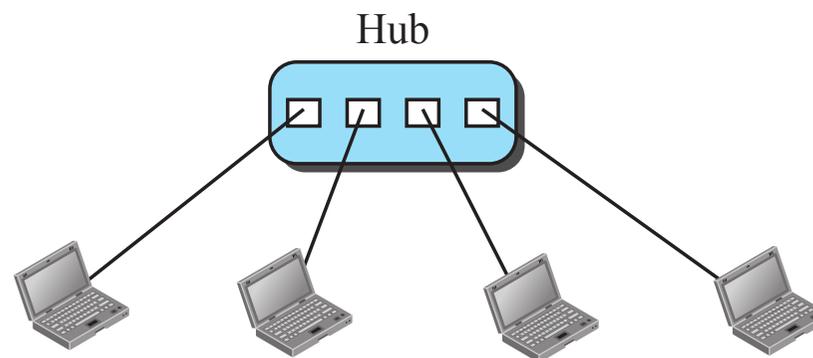
En la topología **estrella**, los dispositivos están conectados a un nodo central o *hub*.

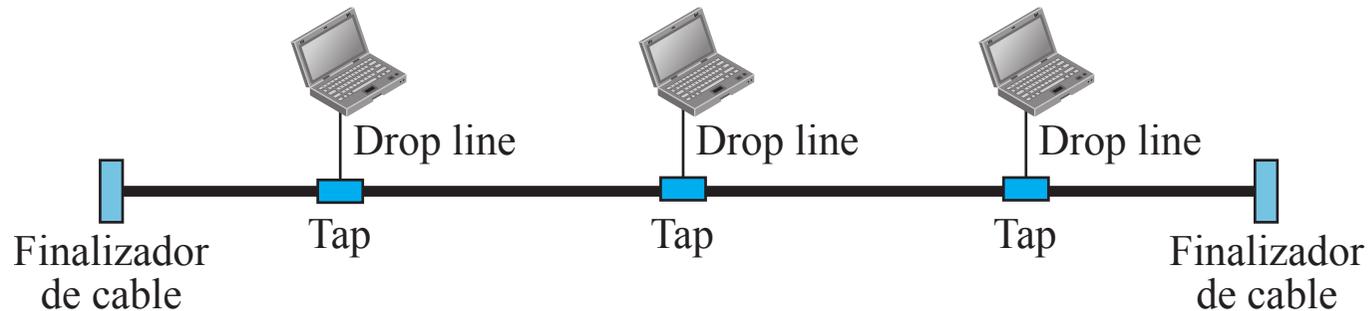
Ventajas:

- Cada dispositivo necesita un solo puerto E/S y una sola línea de transmisión.
- Menor coste económico.
- Fácil configuración.
- Robustez.
- El dispositivo *hub* puede ser utilizado como monitor del sistema.

Inconvenientes:

- Puede ser *cuello de botella* de la red.

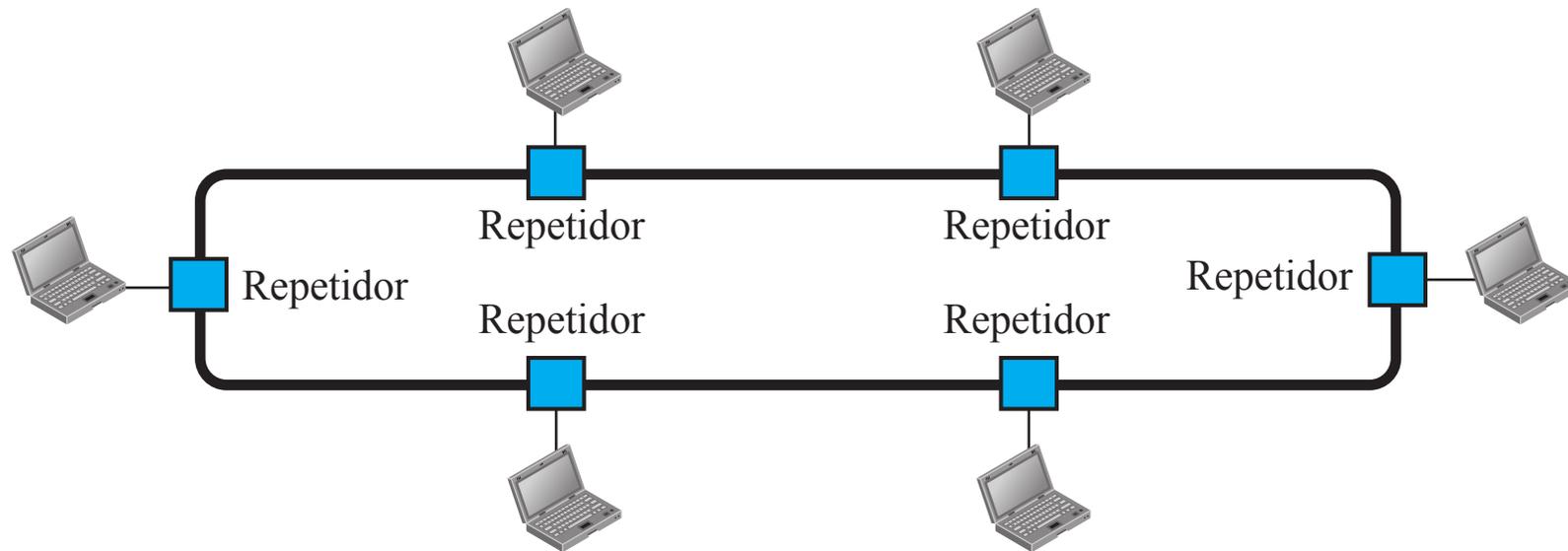




En la topología **bus**, las estaciones están conectas a un bus mediante cables y taps.

- Fácil instalación.
- Requiere poca longitud de cable.
- Difícil configuración, protección, seguridad y aislamiento.
- Dificultad para añadir nuevos dispositivos.
- El fallo del bus repercute en toda la red.
- Degradación de la señal.

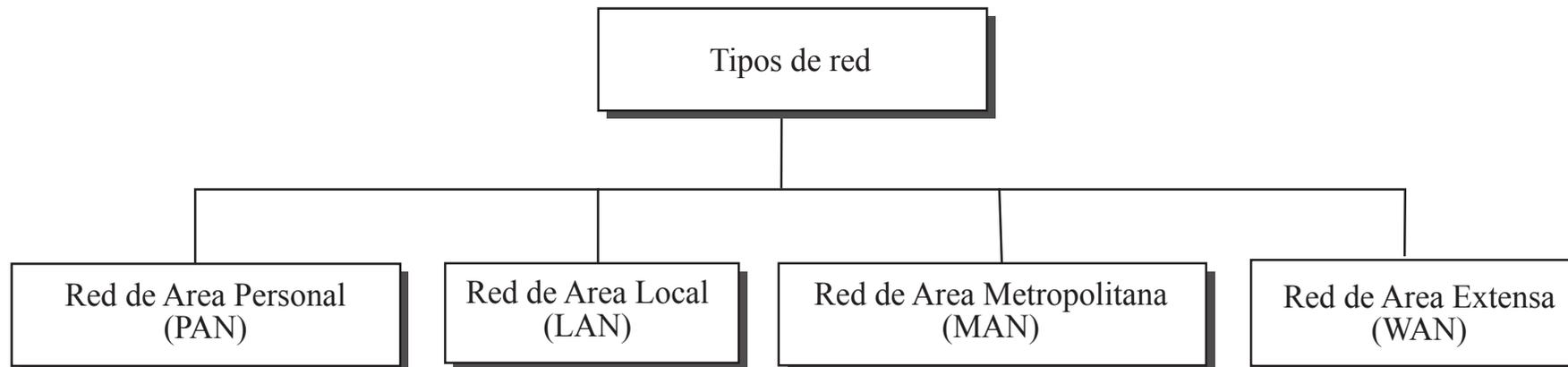
Anillo



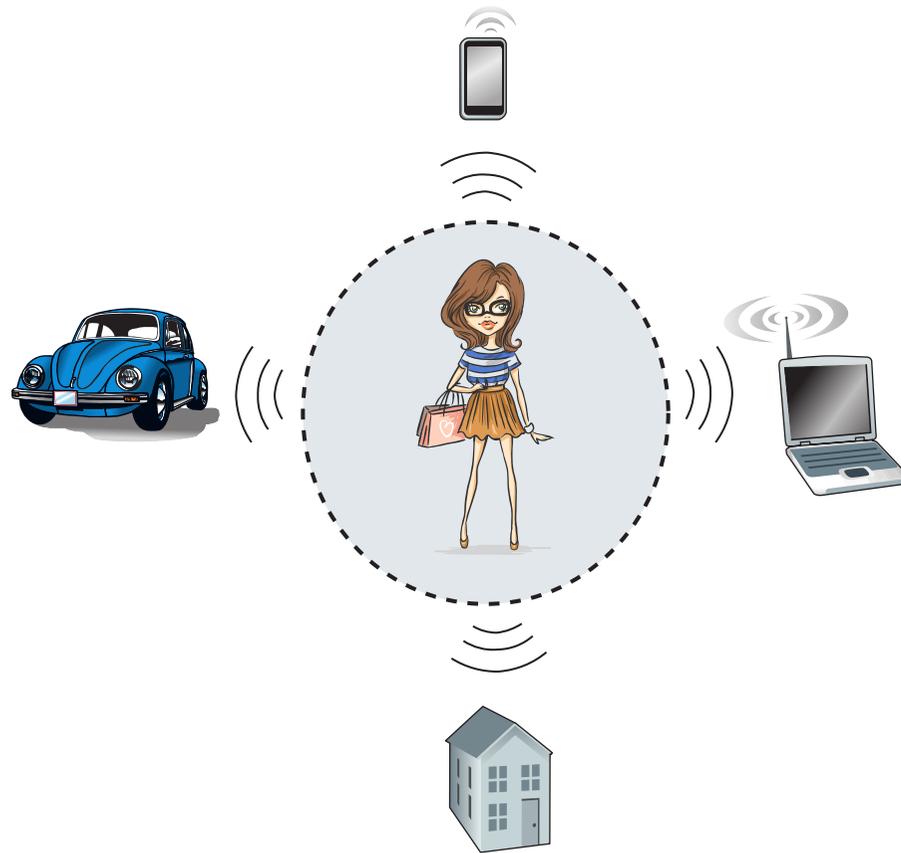
En la topología **anillo**, cada dispositivo tiene una conexión punto a punto con los dispositivos a ambos lados. La señal va circulando a lo largo del anillo en una dirección, de dispositivo en dispositivo, hasta que alcanza el destino. Cada dispositivo incorpora un **repetidor**.

- Fácil de instalar y configurar.
- Incorporación de nuevas instalaciones sólo afecta a dos conexiones.
- El tráfico unidireccional genera problemas de rendimiento.
- La rotura del bus provoca caída del anillo.

Clasificación de redes (extensión)

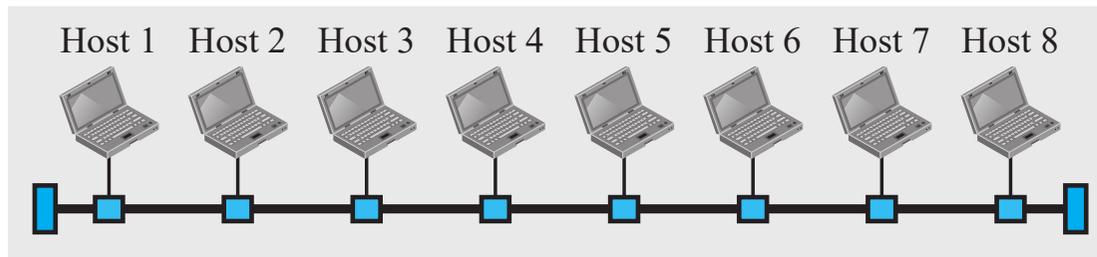


PAN ("Personal Area Network")

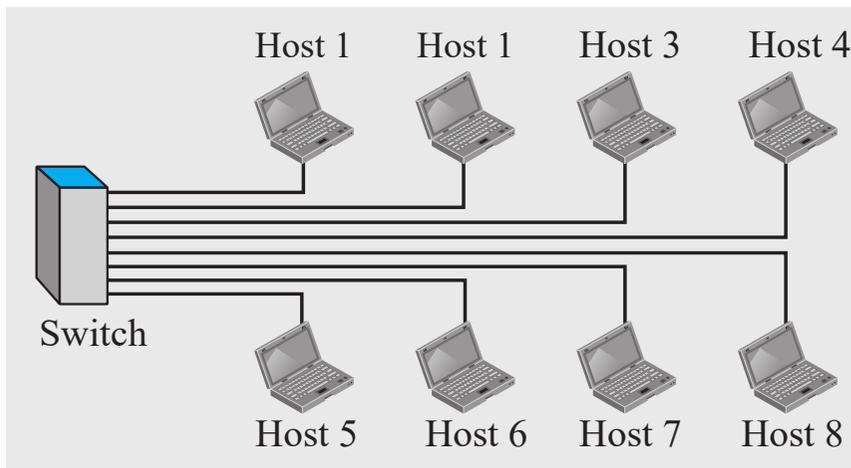


- Una **red de área personal (PAN)** es la que abarca el individuo.
- También se denomina WPAN (Wireless PAN).
- Gestiona la interacción entre dispositivos móviles.
- Utiliza tecnologías inalámbricas (Bluetooth, Wifi, etc).

LAN ("Local Area Network")

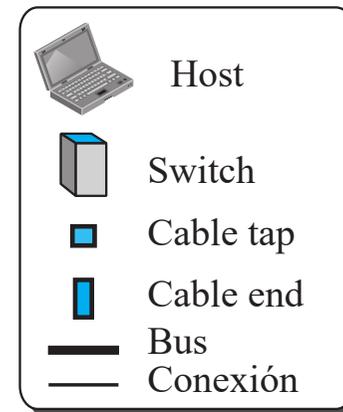


(a) LAN con un cable común (obsoleto)



(b) LAN con un switch (actual)

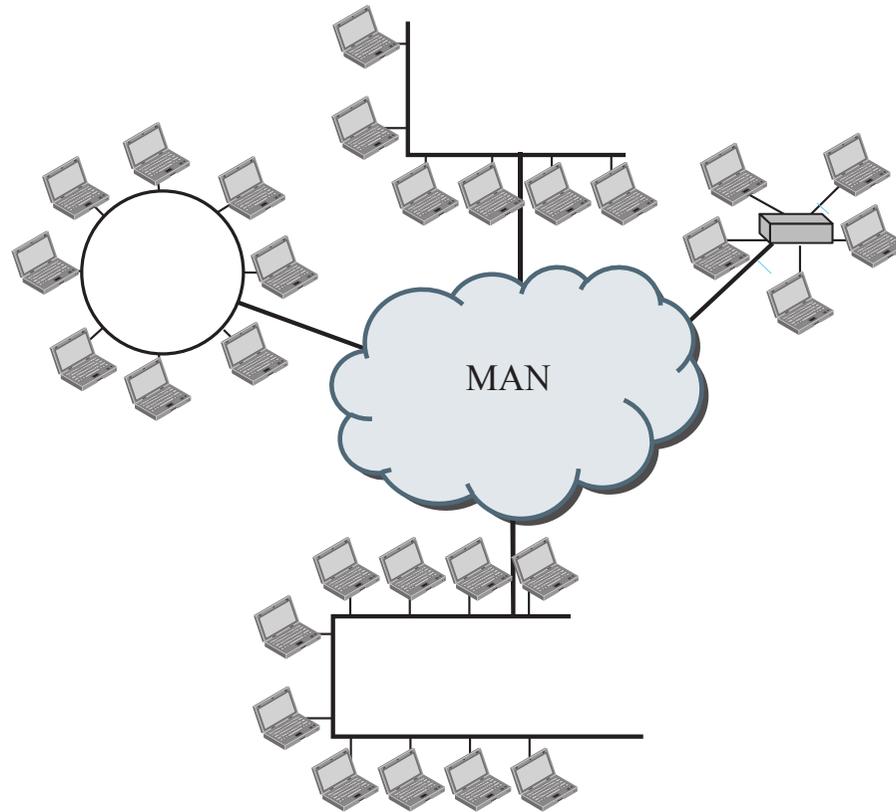
Leyenda



[Forouzan]

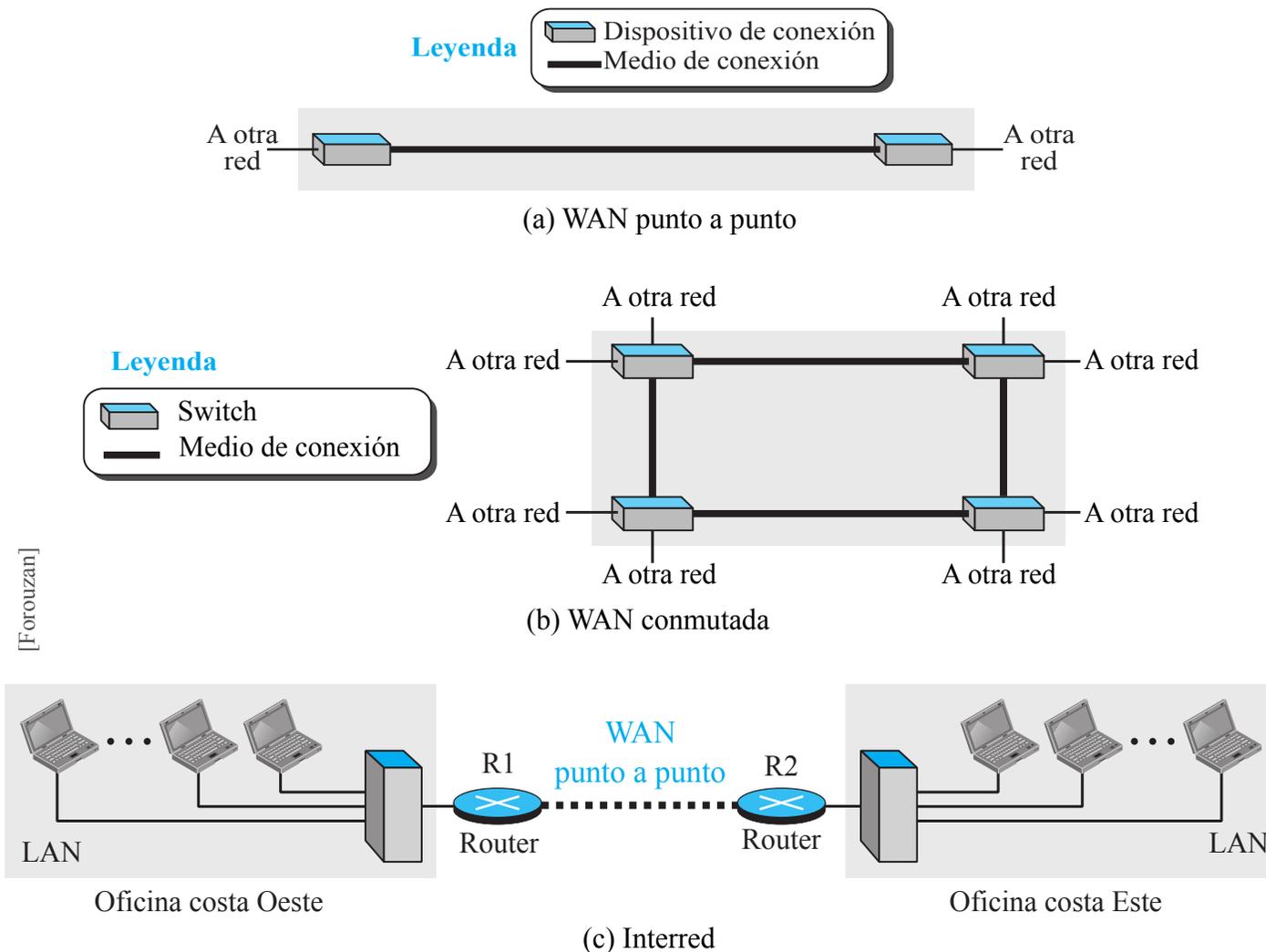
- La **red de area local (LAN)** normalmente es privada y conecta hosts en una oficina, edificio o campus.
- Opera a altas velocidades (hasta gigabits) con tecnologías de **difusión**.
- Ejemplos: Ethernet, WiFi.

MAN ("Metropolitan Area Network")



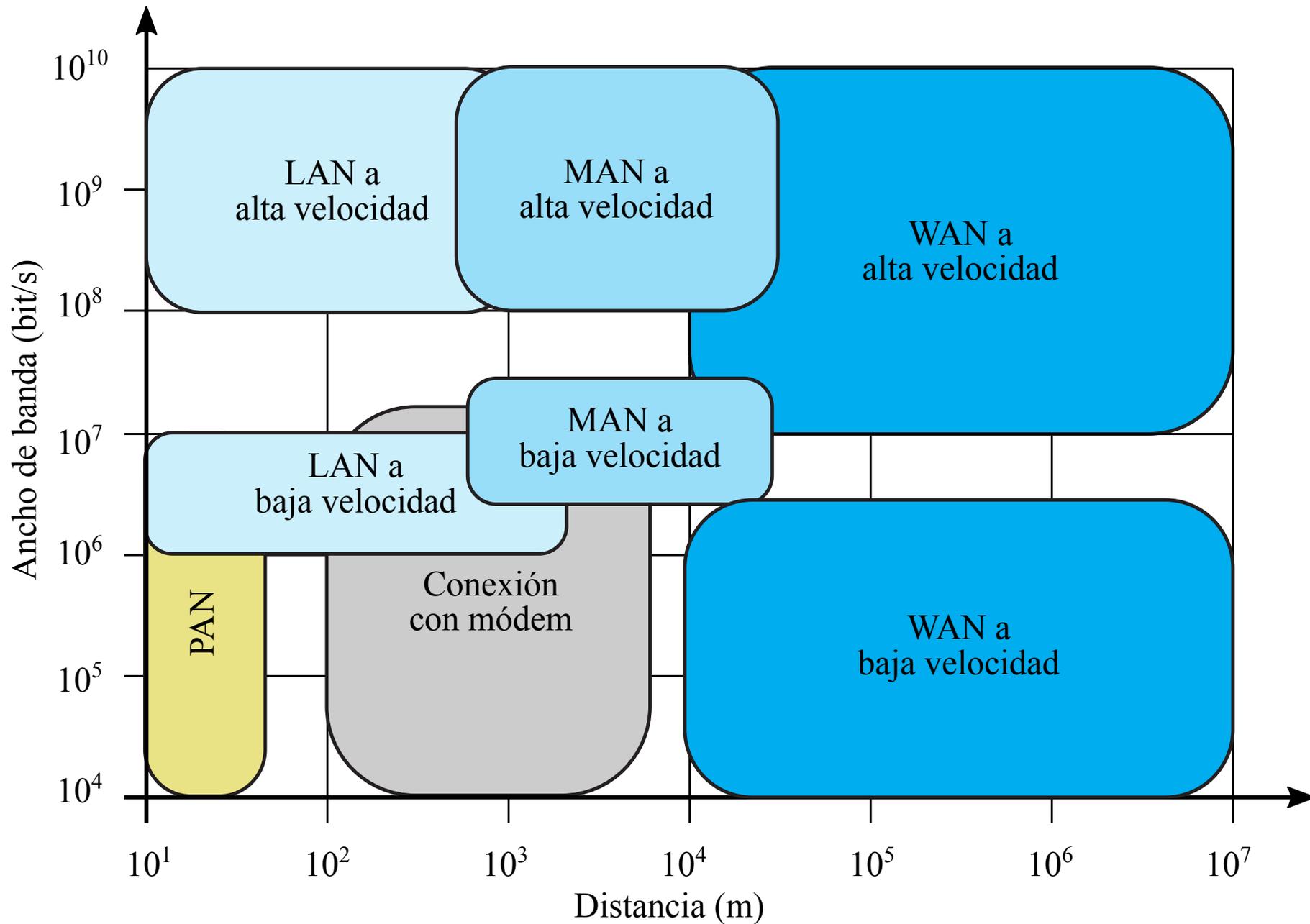
- La **red de área metropolitana (MAN)** se despliega en entornos urbanos.
- Tecnología similar a las LAN.
- Uso privado o público.
- Ancho de banda elevado.
- Ejemplo: fibra óptica.

WAN ("Wide Area Network")



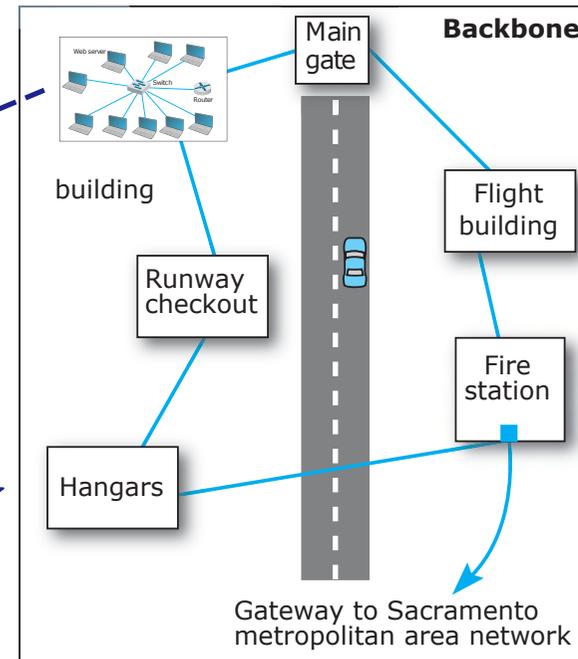
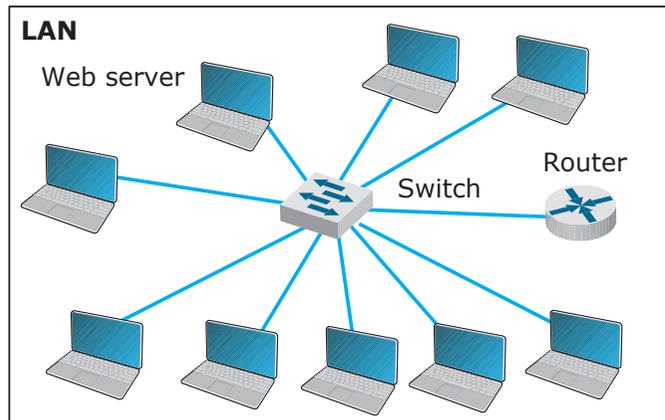
- Una **red de area extensa (WAN)** es una interconexión entre dispositivos capaces de comunicar.
- Habitualmente, es desplegada por una ciudad, estados, países, e incluso, continentes.
- Interconecta dispositivos tales como routers, modems, etc.

Clasificación de redes (extensión)



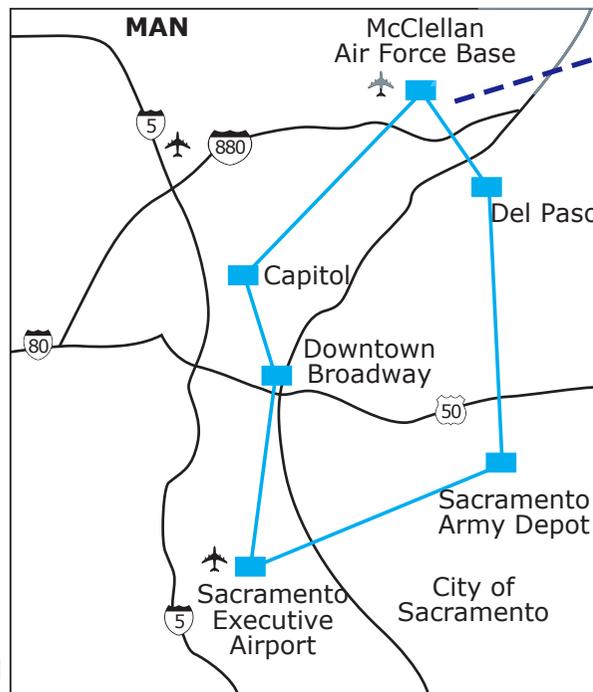
Relación jerárquica entre redes

Red de Área Local (LAN) en Records Building: un nodo del backbone McClellan Air Force Base (BN).

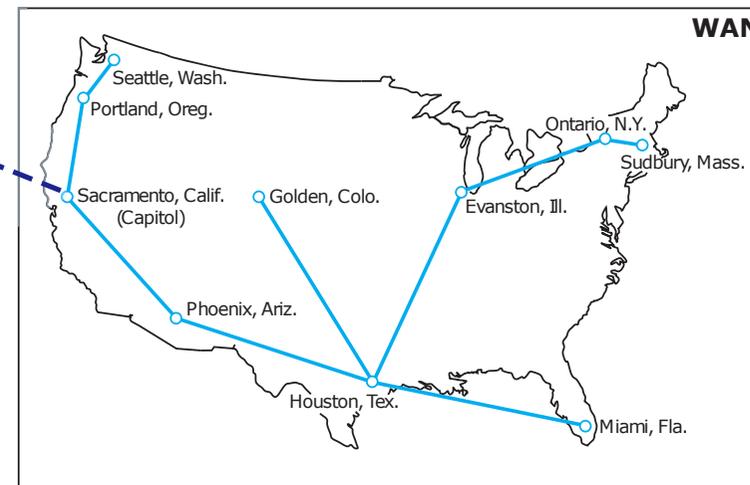


Red Backbone (BN) en McClellan Air Force Base: un nodo de la red de área metropolitana (MAN) de Sacramento.

Red de Área Metropolitana (MAN) en Sacramento: un nodo de la Red de área extensa (WAN).



[Fitzgerald]



Red de área extensa (WAN): mostrando Sacramento conectado a otras nueve ciudades en EE.UU.

¿Qué es una interred?

Internet es una red de computadores que interconecta cientos de millones de dispositivos de computación en el mundo: PCs, servidores, smartphones, tablets, TVs, sensores auto-móviles, etc.

Cualquier dispositivo conectado se denomina **host** o **sistema final**.

Los sistemas finales están conectados mediante **enlaces de comunicaciones** y **conmutadores de paquetes**.

Diferentes **enlaces** pueden transmitir a diferentes **tasas de transmisión** (bits por segundo).

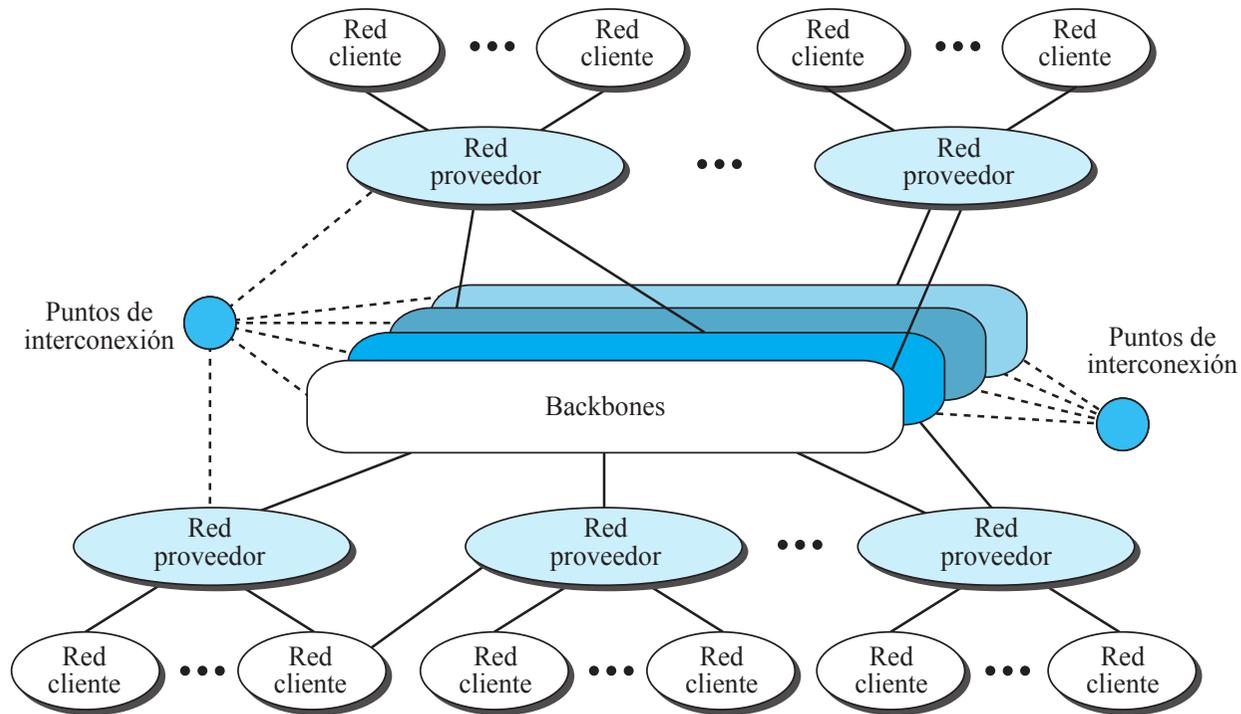
Cuando un sistema final tiene que enviar datos a otro sistema final, segmenta los datos y añade unos bytes, denominados **cabecera**.

La información se organiza en **paquetes**, que se envían a través de las diferentes redes, hasta alcanzar el sistema final destino, donde se reensambla y obtiene el mensaje original.

Un **conmutador de paquetes** acepta un paquete entrante por alguno de sus enlaces de comunicaciones y lo **reenvía** por algún otro enlace saliente.

Los conmutadores de paquetes más comunes son: **router** y **switch de capa enlace**.

Los **protocolos** controlan el envío/recepción de la información. Ejemplos: TCP, IP, HTTP, Skype, Ethernet.



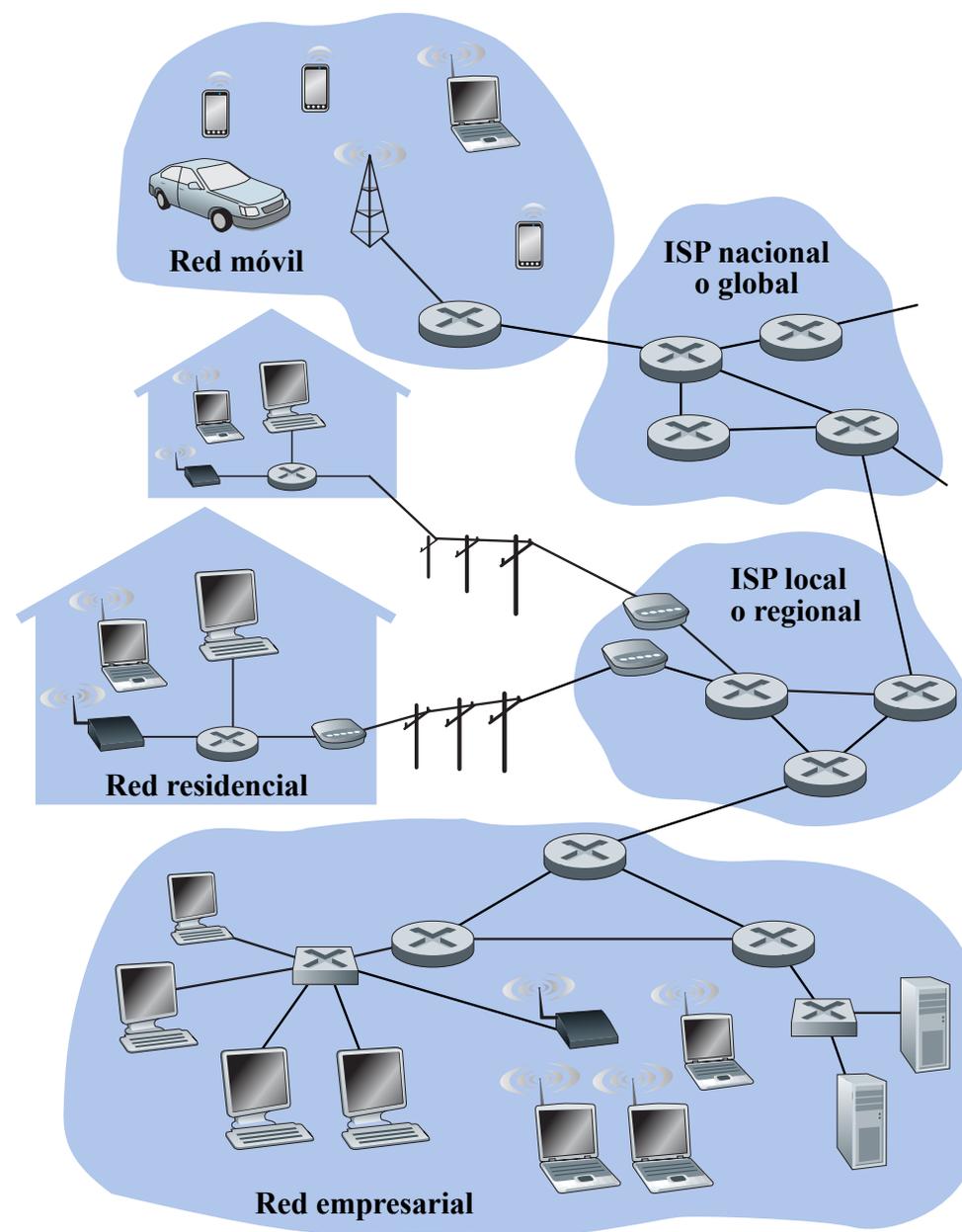
- Una **interred** (en inglés, **internet**) consiste en dos o más redes interconectadas.
- **Internet** es la “**red de redes**”.
- Backbones y redes de proveedor se conocen como **Internet Service Providers (ISP)**.
- A menudo, backbones se identifican como ISP internacional, y las redes de proveedores se conocen como ISPs nacionales o regionales.
- Estándares de Internet:
 - RFC: *Request for comments*.
 - IETF: *Internet Engineering Task Force*.

1. Introducción
2. Terminología y clasificación
- 3. *Redes de borde y núcleo***
4. Modelo en capas
5. Modelos de referencia
6. Redes de conmutación
7. Rendimiento



Estructura de la red

- **La red de borde (edge):** aplicaciones y sistemas terminales.
- **Redes de acceso:** medios físicos, enlaces de comunicación cableados e inalámbricos.
- **El núcleo de la red (core):** routers interconectados y red de redes.



La red de borde

Sistemas terminales (hosts):

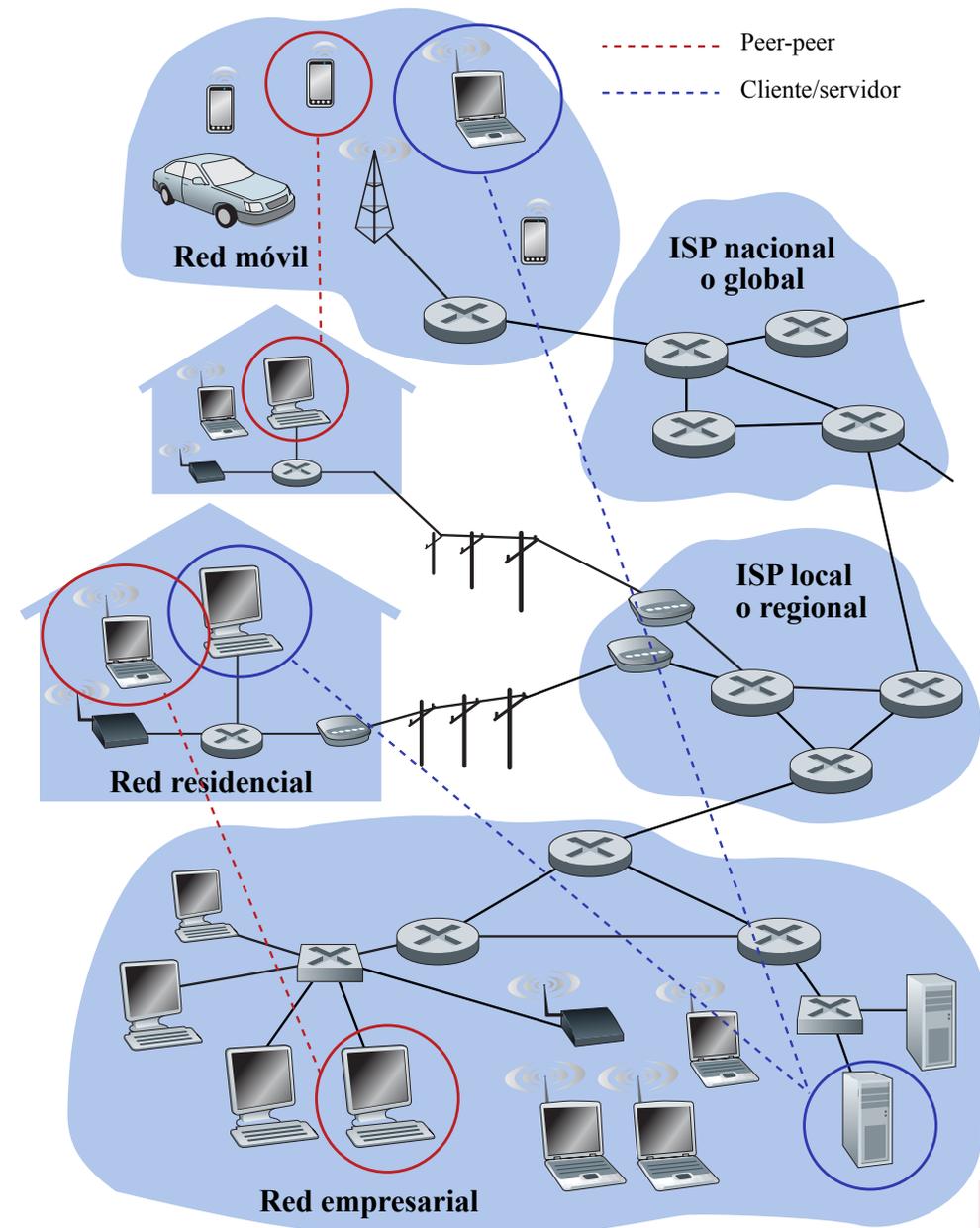
- Ejecuta programas de aplicación
- Ejem. Web, email, etc.
- En el “borde de la red”.

Modelo cliente/servidor

- Sistema terminal cliente solicita y recibe un servicio de un servidor
- Ejem. navegador/servidor Web, etc.

Modelo peer-peer:

- Mínimo uso (o ninguno) de servidores dedicados
- Ejem. Skype, BitTorrent, etc.



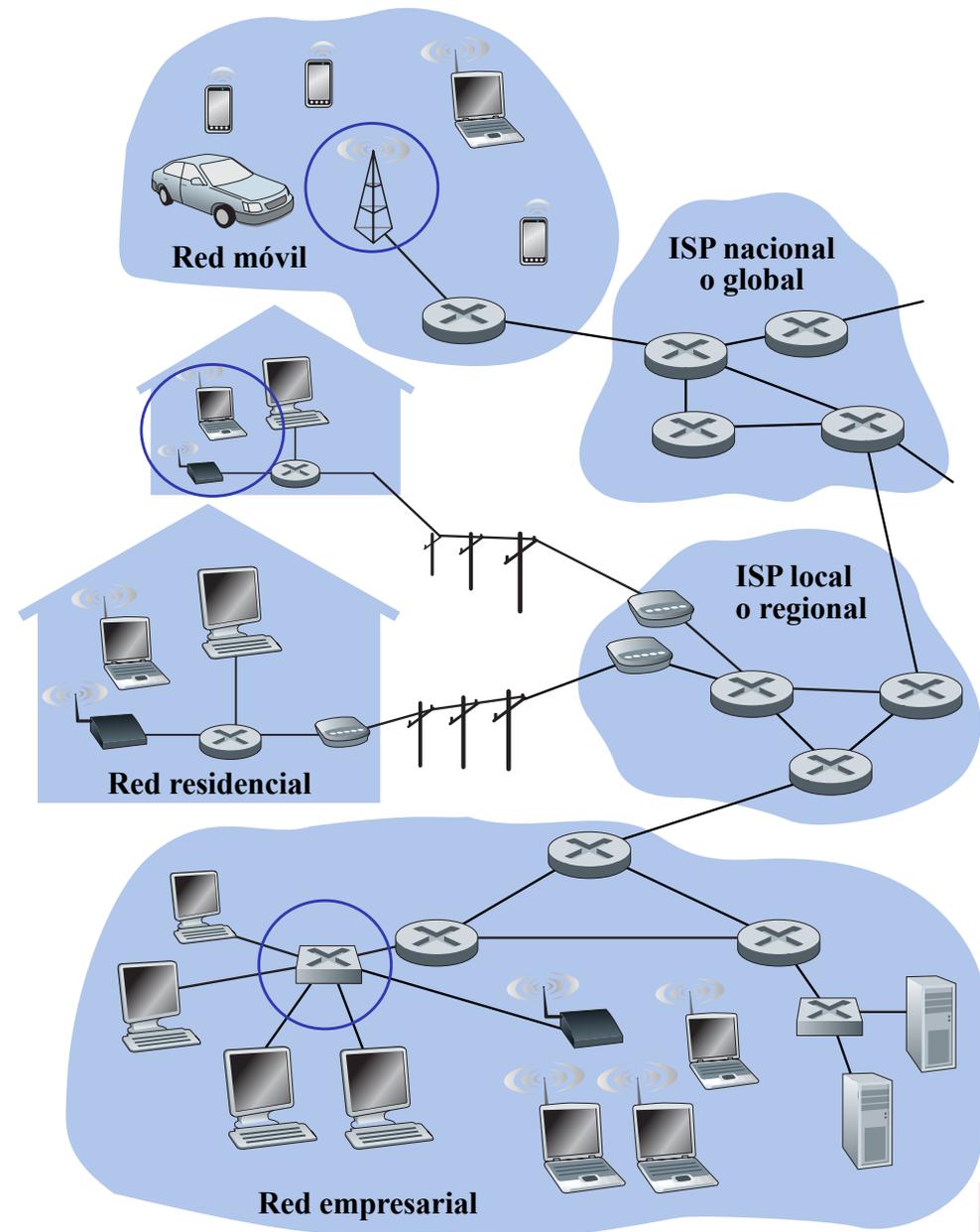
La red de acceso y medios físicos

¿Cómo conectar sistemas terminales a un dispositivo de borde?

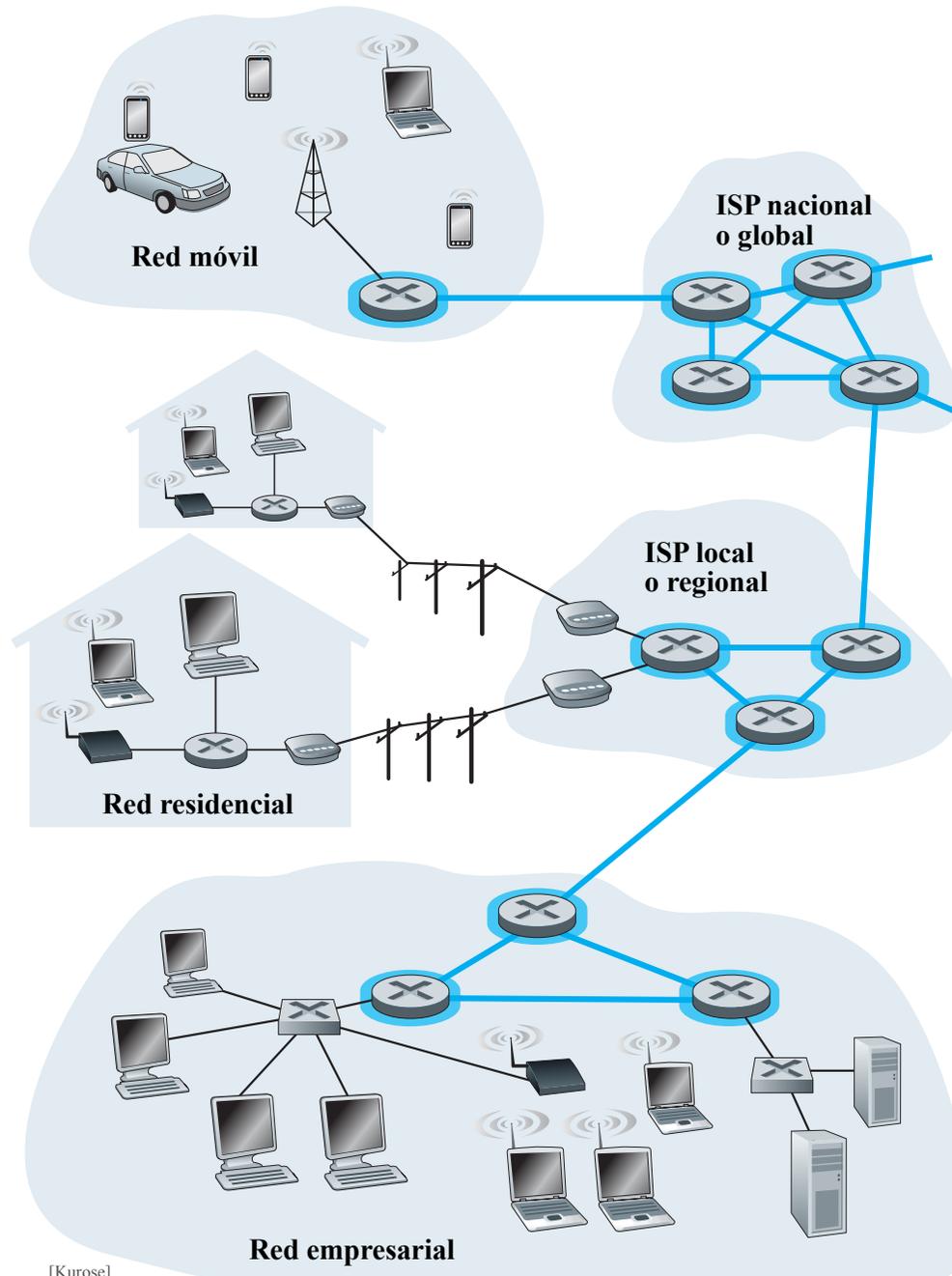
- Redes de acceso domésticas: DSL, Cable, FTTH, servicio de llamada y satélite.
- Redes de acceso institucionales (colegio, empresa): Ethernet y WiFi.
- Redes de acceso móviles: 3G, 4G, 5G, ...

Hay que considerar:

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



La red de núcleo (core)



[Kurose]

¿Qué es un protocolo?

Protocolos humanos

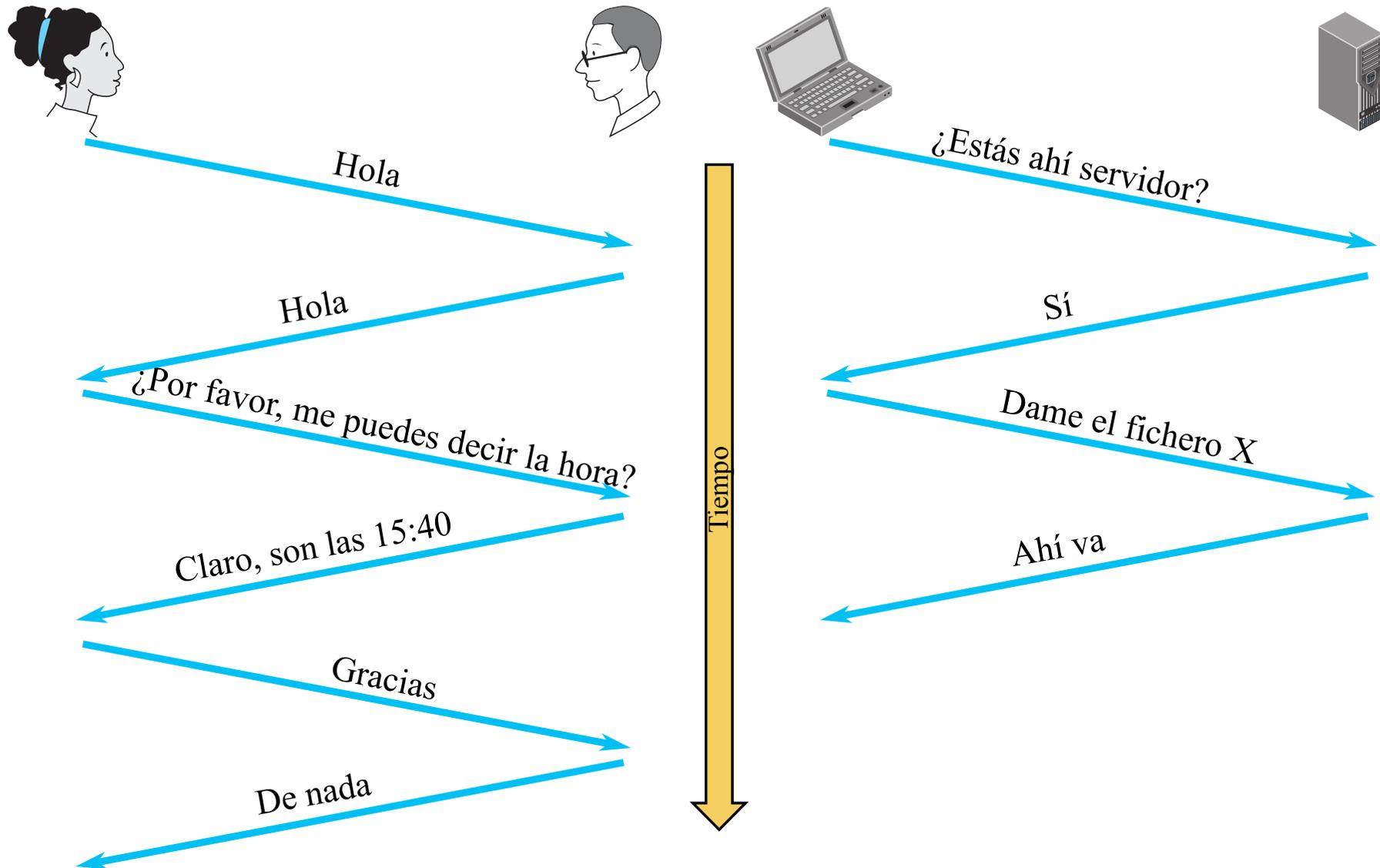
- Preguntar la hora
- Levantar la mano
- Dejar salir antes de entrar
- ... se envían mensajes específicos
- ... se toman acciones específicas cuando se reciben las respuestas u otros sucesos

Protocolos de red

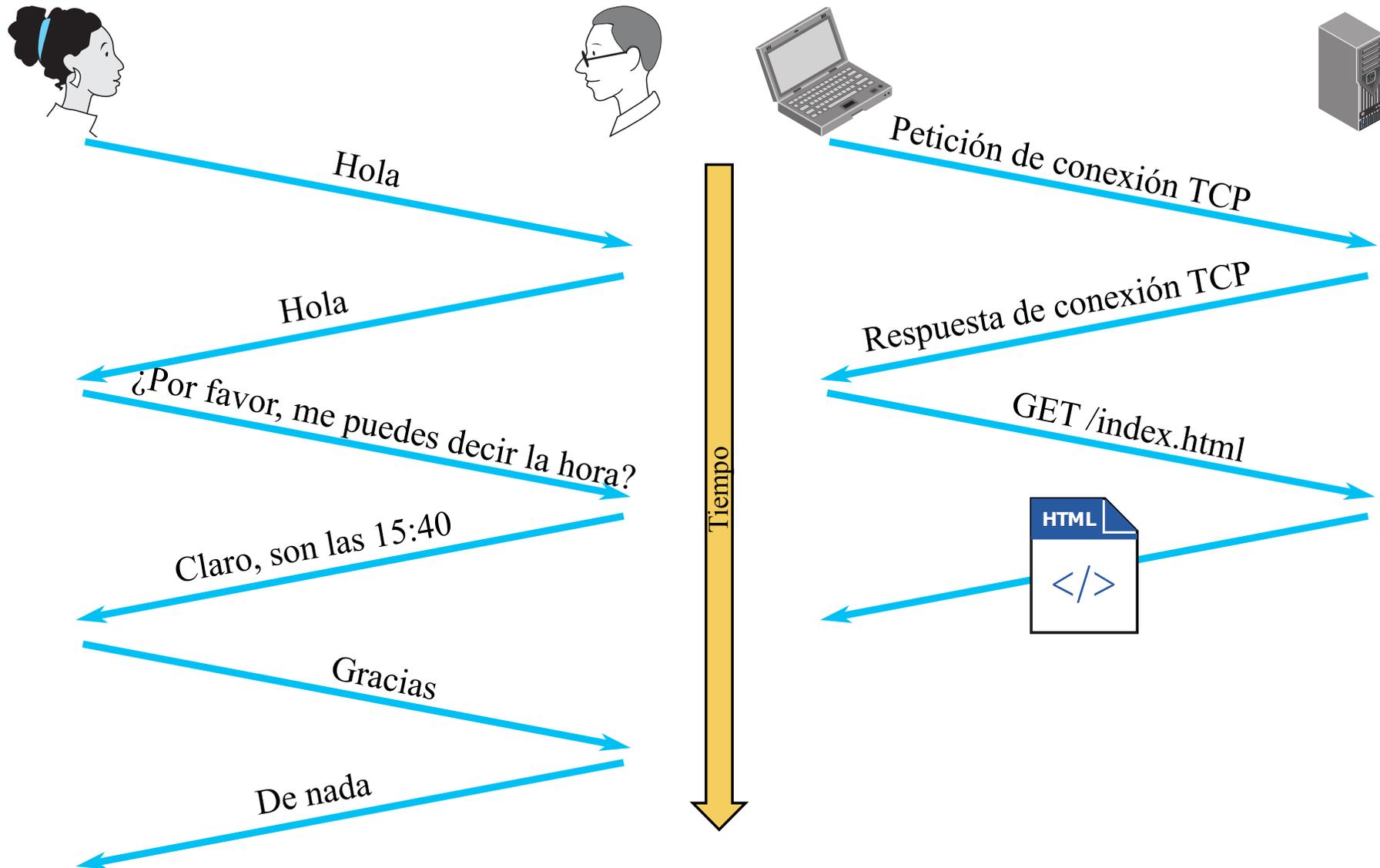
- Intervienen máquinas en lugar de seres humanos
- Toda la actividad de comunicación en Internet se rige por protocolos

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.

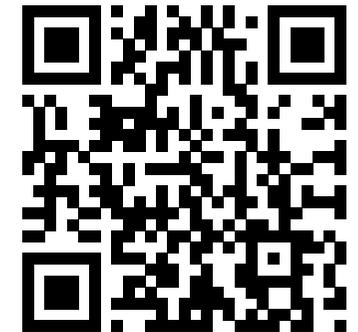
¿Qué es un protocolo?



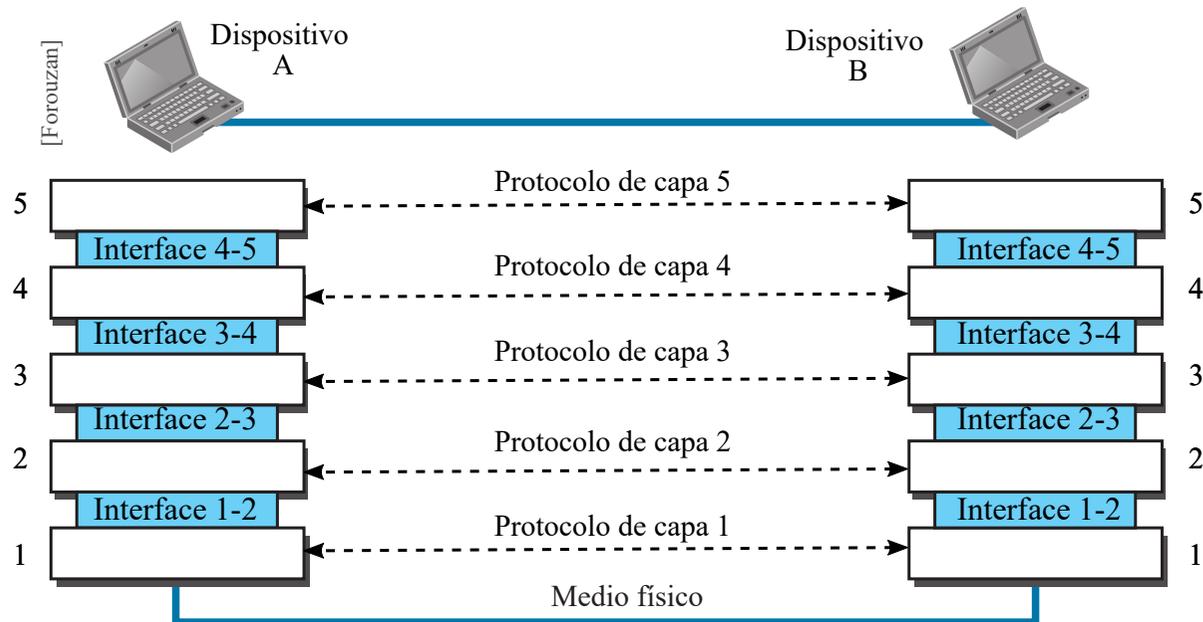
¿Qué es un protocolo?



1. Introducción
2. Terminología y clasificación
3. Redes de borde y núcleo
- 4. *Modelo en capas***
5. Modelos de referencia
6. Redes de conmutación
7. Rendimiento



Arquitectura en capas



- La complejidad de las comunicaciones aconseja el empleo de modelos jerárquicos:
 - Se dividen las tareas en diferentes capas o niveles.
 - Cada nivel resuelve un objetivo concreto, siendo fácilmente reemplazable sin afectar al conjunto.
 - Para cada nivel se emplea un (o varios) protocolo específico.
- Este modelo jerárquico se denomina **arquitectura de comunicación**.
- Cada fabricante desarrolló su propia arquitectura: **redes incompatibles !!**
- Como alternativa, y para el desarrollo de redes compatibles, ITU-T desarrolló la norma X.200 (Modelo OSI).



Funciones:

- Conjunto de tareas desempeñadas en un nivel o capa.
- Ejemplo: función de traducción.

Servicios:

- Conjunto de prestaciones ofrecidas por un nivel (proveedor) a su nivel inmediatamente superior (usuario).
- Se especifican formalmente por un conjunto de primitivas u operaciones.
- Ejemplo: servicio de traducción.

Primitivas:

- Conjunto de estructuras de información que implementan los servicios de un nivel.
- Tipos:
 - Solicitud (*Request*) → emitida por el usuario del servicio en origen.
 - Indicación (*Indication*) → emitida por el suministrador del servicio (por iniciativa propia o no).
 - Respuesta (*Response*) → emitida por el usuario del servicio en destino.
 - Confirmación (*Confirm*) → emitida por el suministrador del servicio.

Tipo de conexión:

- Orientado a la conexión
 - ✓ Conexión
 - ✓ Comunicación
 - ✓ Liberalización
- Sin conexión

Calidad de servicio:

- Confiable
- No confiable

Tipo de confirmación:

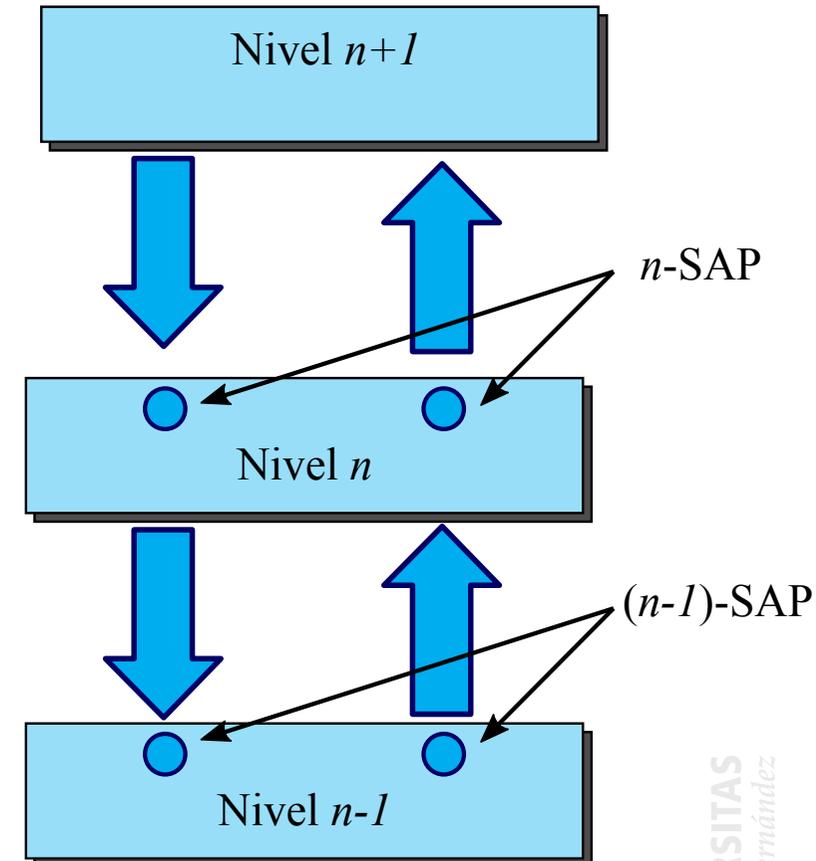
- Confirmado
 - ✓ Petición
 - ✓ Indicación
 - ✓ Respuesta
 - ✓ Confirmación
- No confirmado
 - ✓ Petición
 - ✓ Indicación

Otros servicios:

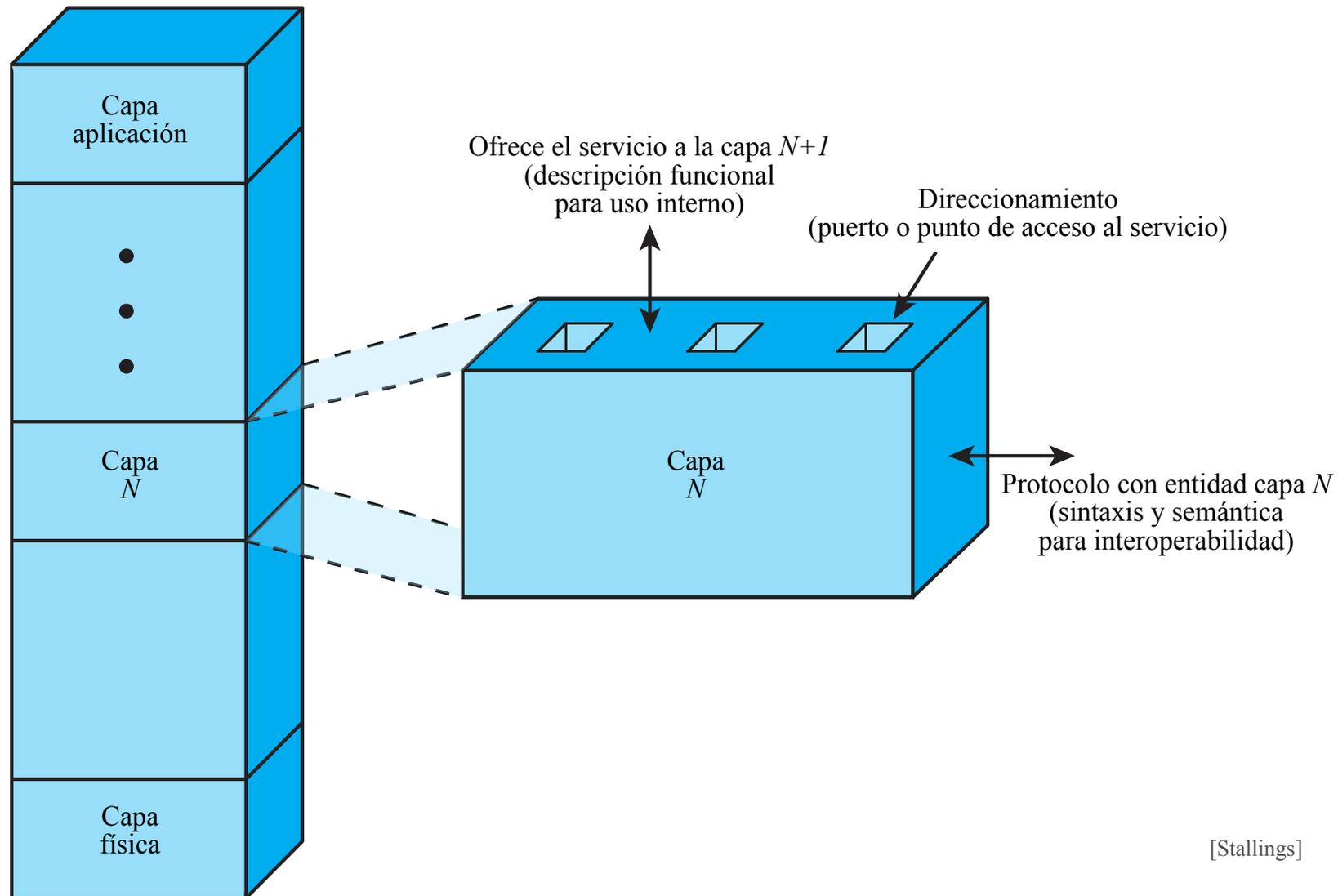
- Con/sin acuse
- Petición/respuesta
- Etc.

Comunicación entre niveles (vertical)

- Cada nivel proporciona un **servicio** al nivel superior (comunicación vertical).
- Sólo hay comunicación entre niveles **adyacentes**.
- Cada capa se descompone en **entidades**.
- Cada capa ofrece los servicios a la superior a través de los **puntos de Acceso al Servicio (SAP)**.
- Las órdenes que se envían por los SAP a la capa contigua son las **primitivas**.

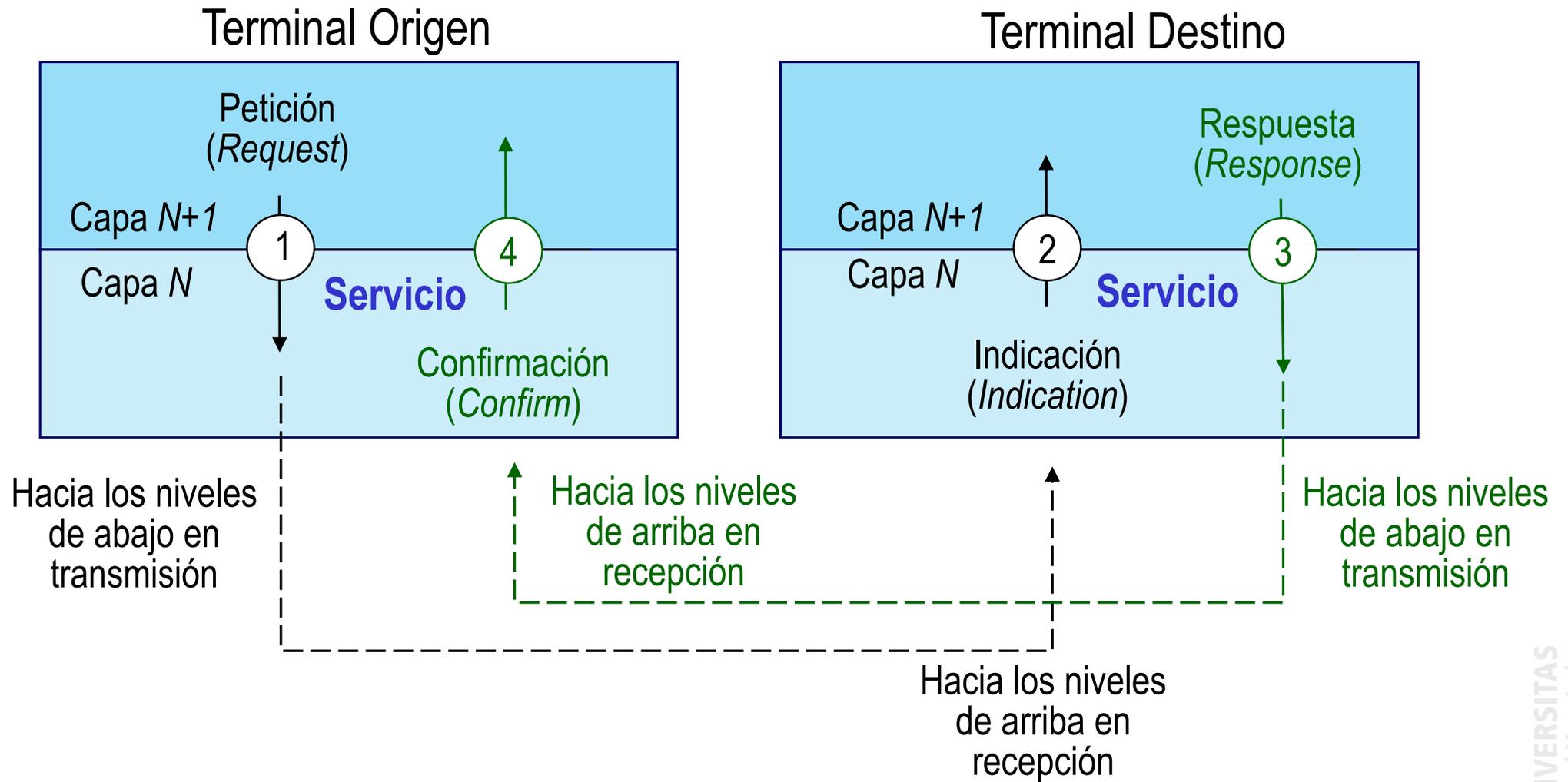


Servicios y puntos de acceso al servicio

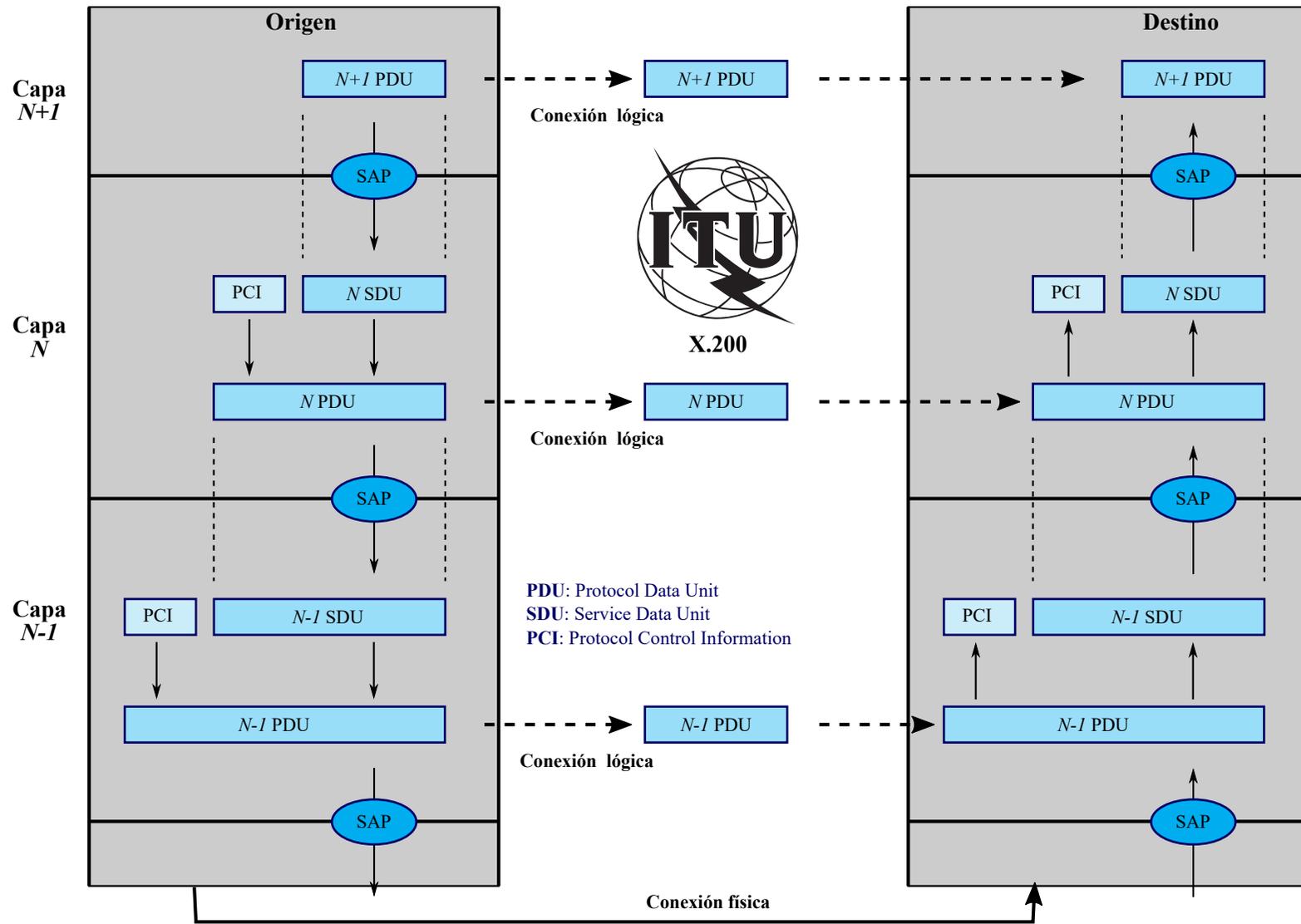


[Stallings]

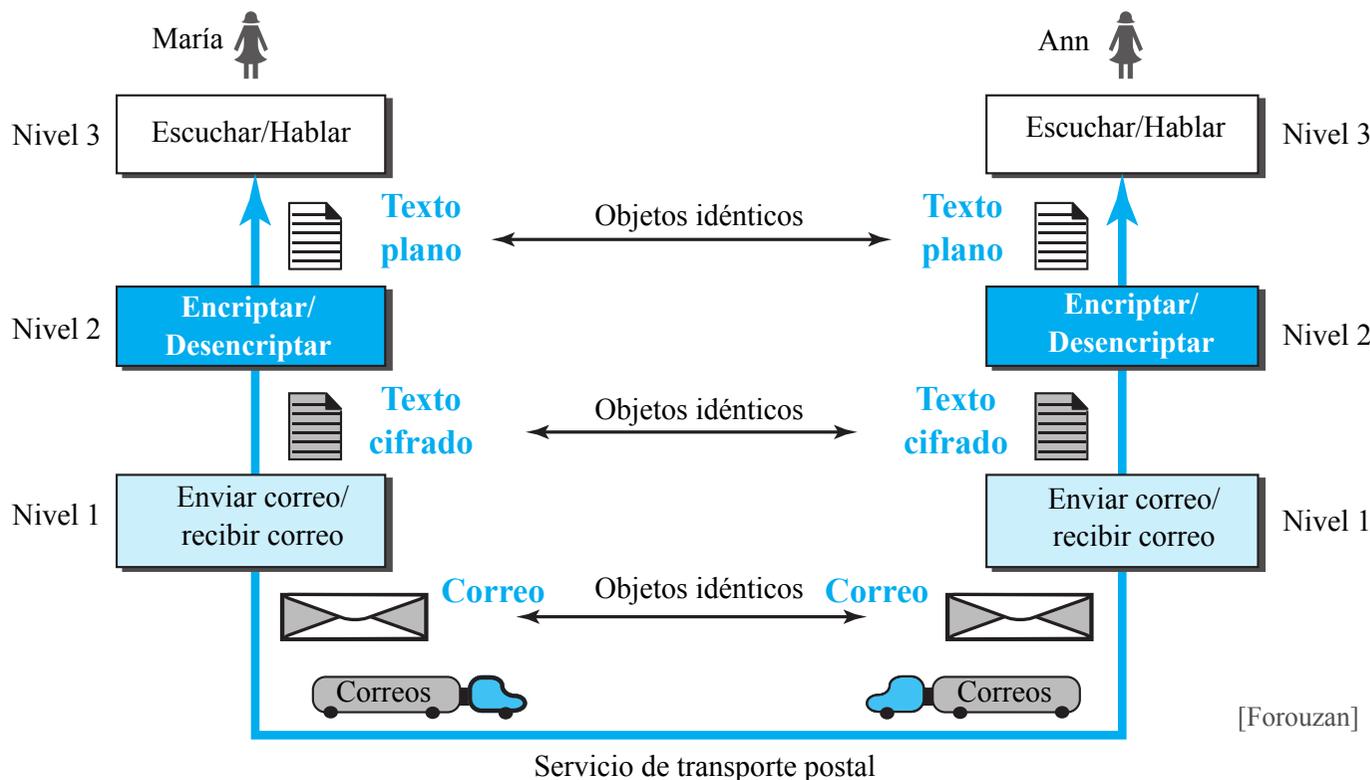
Primitivas



Comunicación entre iguales (horizontal)



Principios de modelo en capas



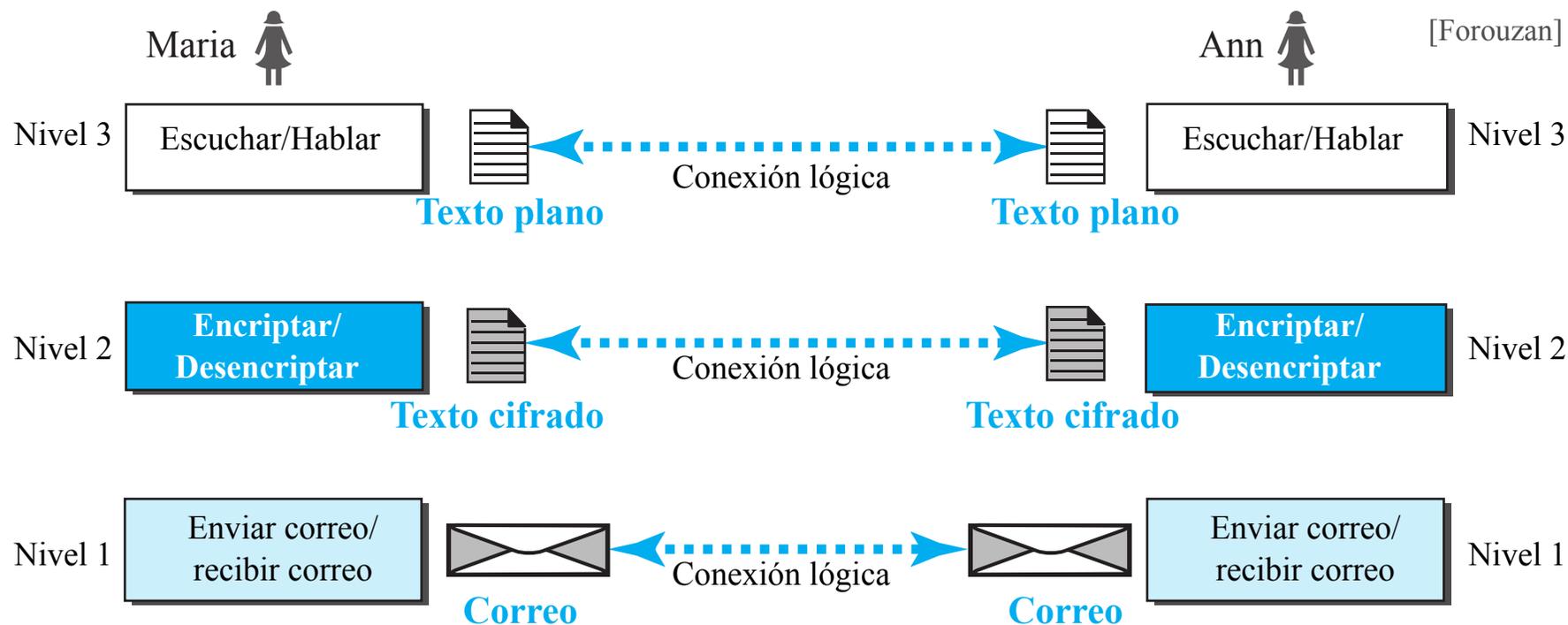
Primer principio: indica que si la **comunicación es bidireccional** entonces necesitamos diseñar cada nivel de forma que ejecute dos **tareas opuestas**, una en cada dirección.

- Nivel 3 debe ser capaz de escuchar (en una dirección) y hablar en (en la otra dirección).
- Nivel 2 necesita ser capaz de encriptar y desencriptar.
- Nivel 1 necesita enviar y recibir correos.

Segundo principio: por debajo de cada capa de mismo nivel los **objetos deben ser idénticos** en ambos extremos.

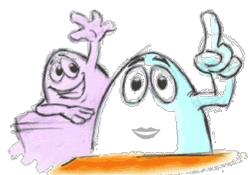
- Debajo de nivel 3, en ambos sitios, deben ser cartas en texto plano idénticas.
- Debajo de nivel 2, texto cifrado idénticos.
- Debajo de nivel 1, en ambos extremos, debe ser un correo.

Conexiones lógicas



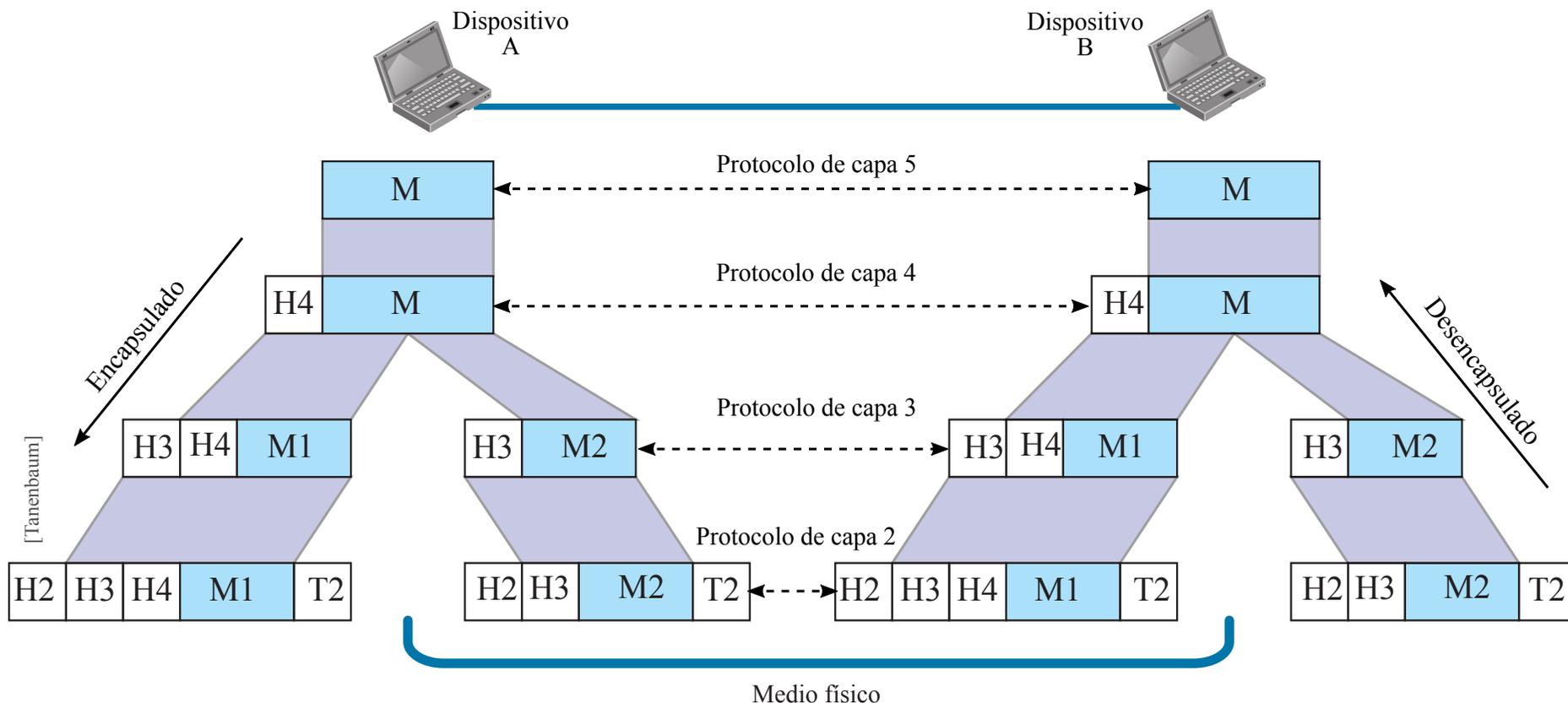
Debemos visualizar el concepto de **conexión lógica** entre capas, que identifica una comunicación capa-a-capas:

Por ejemplo, María y Ann podrían pensar que hay una conexión lógica (imaginaria) en cada capa a través de las que pueden enviar el objeto creado en cada capa.



El concepto de conexión lógica es muy útil para entender el funcionamiento de los modelos en capas.

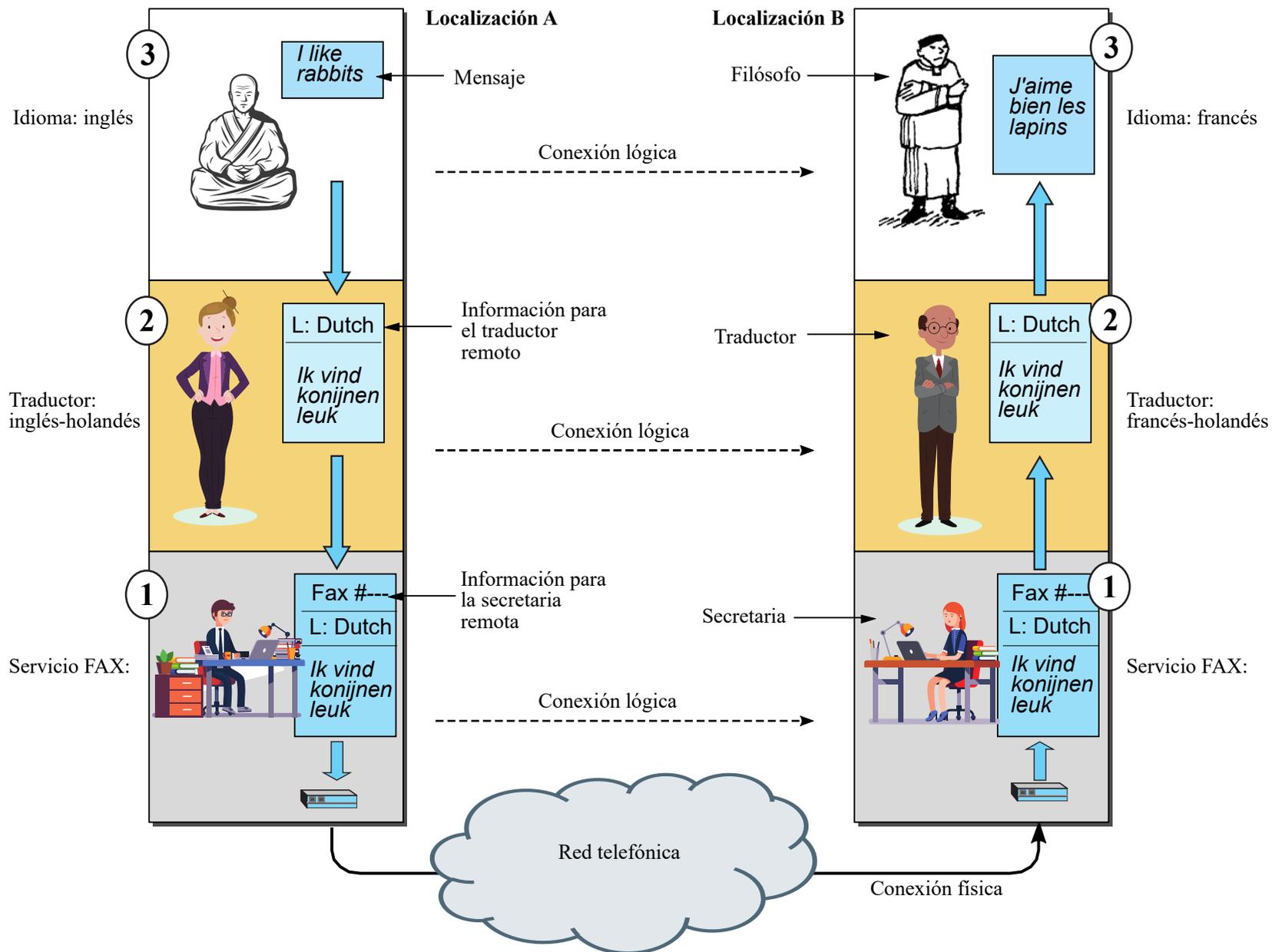
Encapsulado



Encapsulado: se realiza en el dispositivo **emisor**, cada nivel recibe los datos del nivel superior, añade su propia información de nivel (**header**) y lo transmite al nivel inmediatamente inferior.

Desencapsulado: se realiza en el dispositivo **receptor**, recibe los datos del nivel inferior, utiliza la información de nivel para llevar a cabo sus funciones, y transmite los datos al nivel superior.

Ejemplo: filósofo-traductor-secretaria



1. Introducción
2. Terminología y clasificación
3. Redes de borde y núcleo
4. Modelo en capas
- 5. Modelos de referencia**
6. Redes de conmutación
7. Rendimiento



Organismos de normalización



Encargados de dictar normas y estándares internacionales:

Acrónimo	Nombre	Resultados
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>	Modelo OSI
CCITT	<i>Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony (actualmente ITU-T)</i>	Normas V, X
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	IEEE 802
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>	Tecnología 5G
IFIP	<i>International Federation for Information Processing</i>	
ECMA	<i>Standardization, Information and Communication Technology</i>	
IRANOR	<i>Instituto de Racionalización y Normalización</i>	



Modelo de referencia OSI

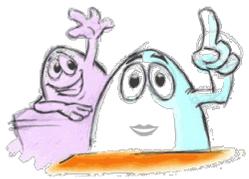


Modelo de referencia OSI



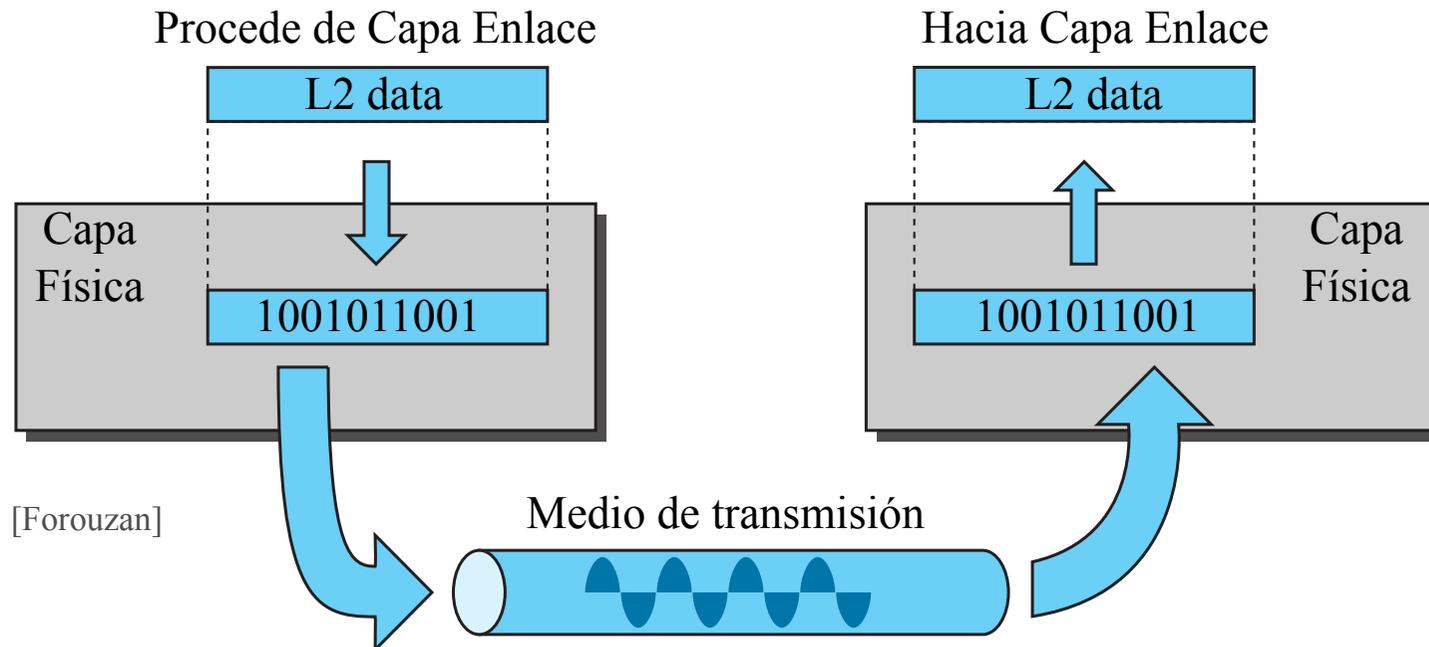
Los criterios de ISO para definir la OSI fueron:

- 1 Se debe crear una capa siempre que se necesite un nivel diferente de abstracción.
- 2 Cada capa debe realizar una función bien definida.
- 3 La función de cada capa se debe elegir pensando en la definición de protocolos estandarizados internacionalmente.
- 4 Los límites de las capas deben elegirse a modo de minimizar el flujo de información a través de las interfaces.
- 5 La cantidad de capas debe ser suficiente para no tener que agrupar funciones distintas en la misma capa, y lo bastante pequeña para que la arquitectura no se vuelva inmanejable.



ISO es la organización; OSI es el modelo de referencia.

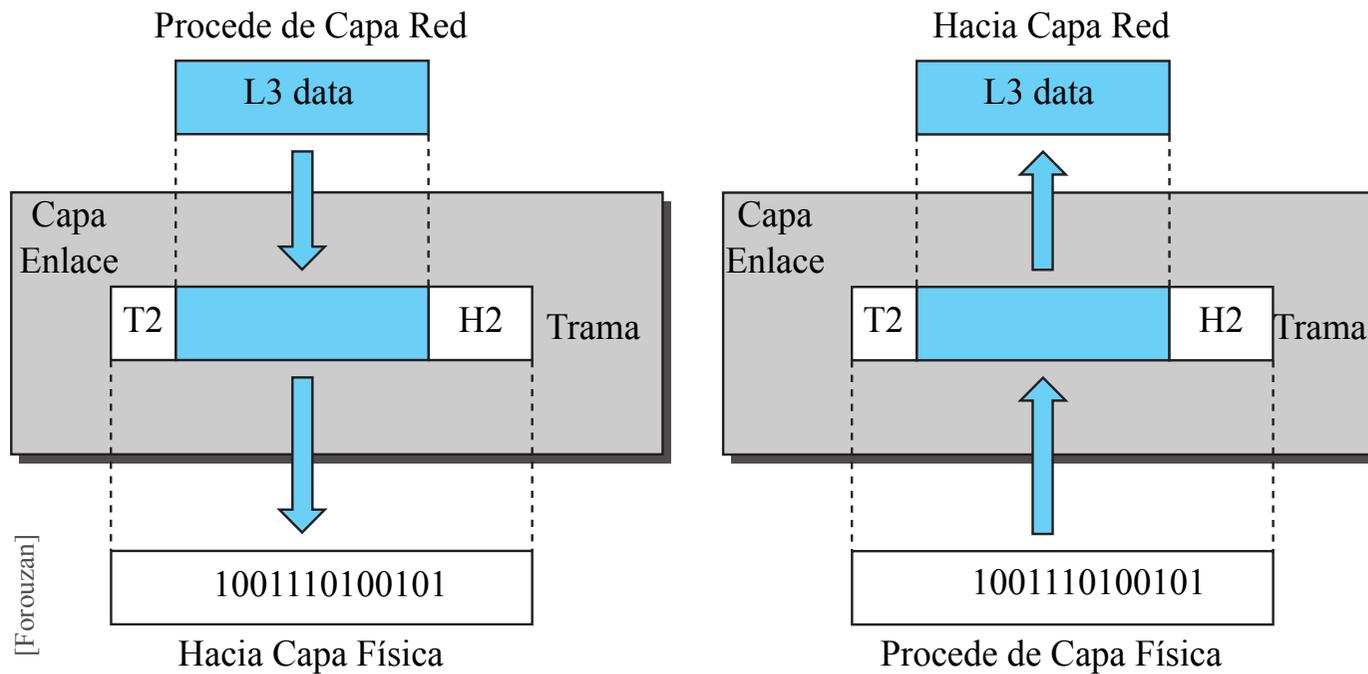
Modelo OSI: nivel físico



Funciones:

- Físicos
- Mecánicos
- Eléctricos
- Electrónicos

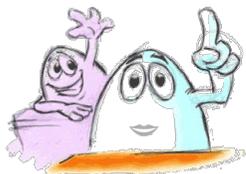
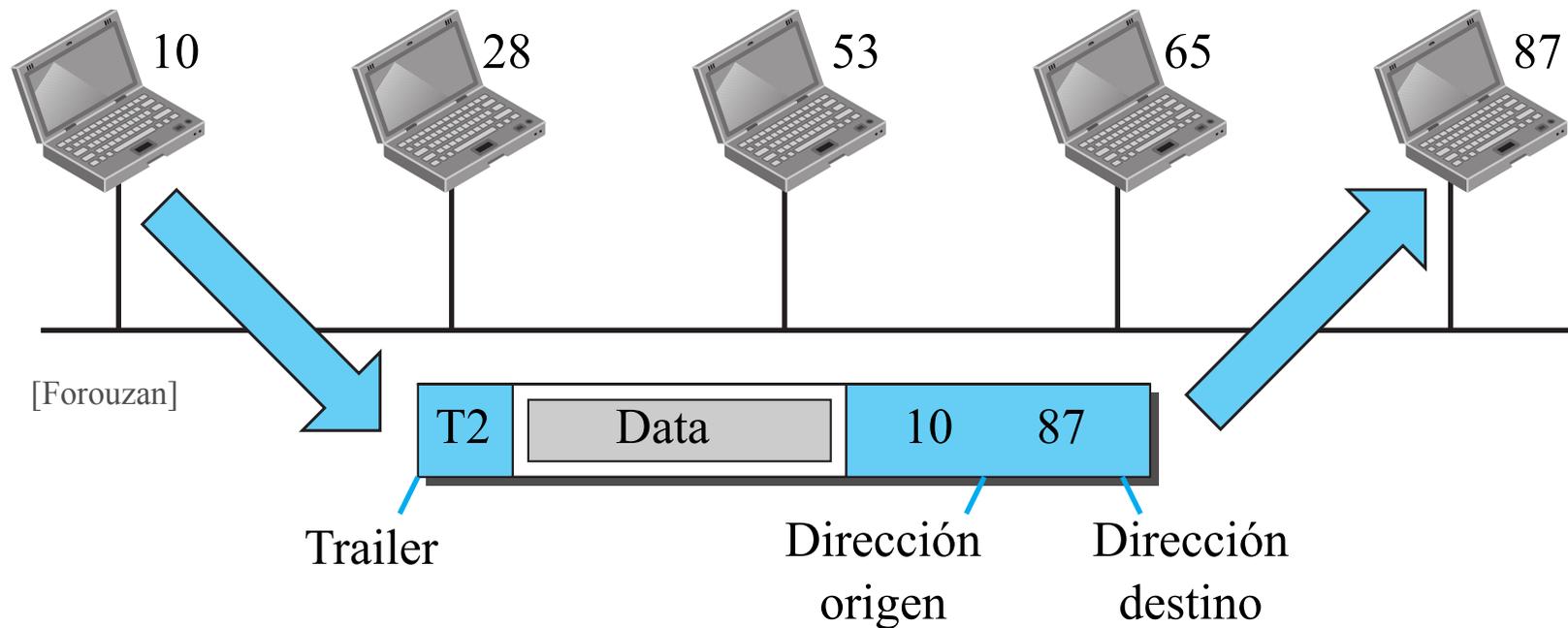
Modelo OSI: nivel enlace (I)



Funciones:

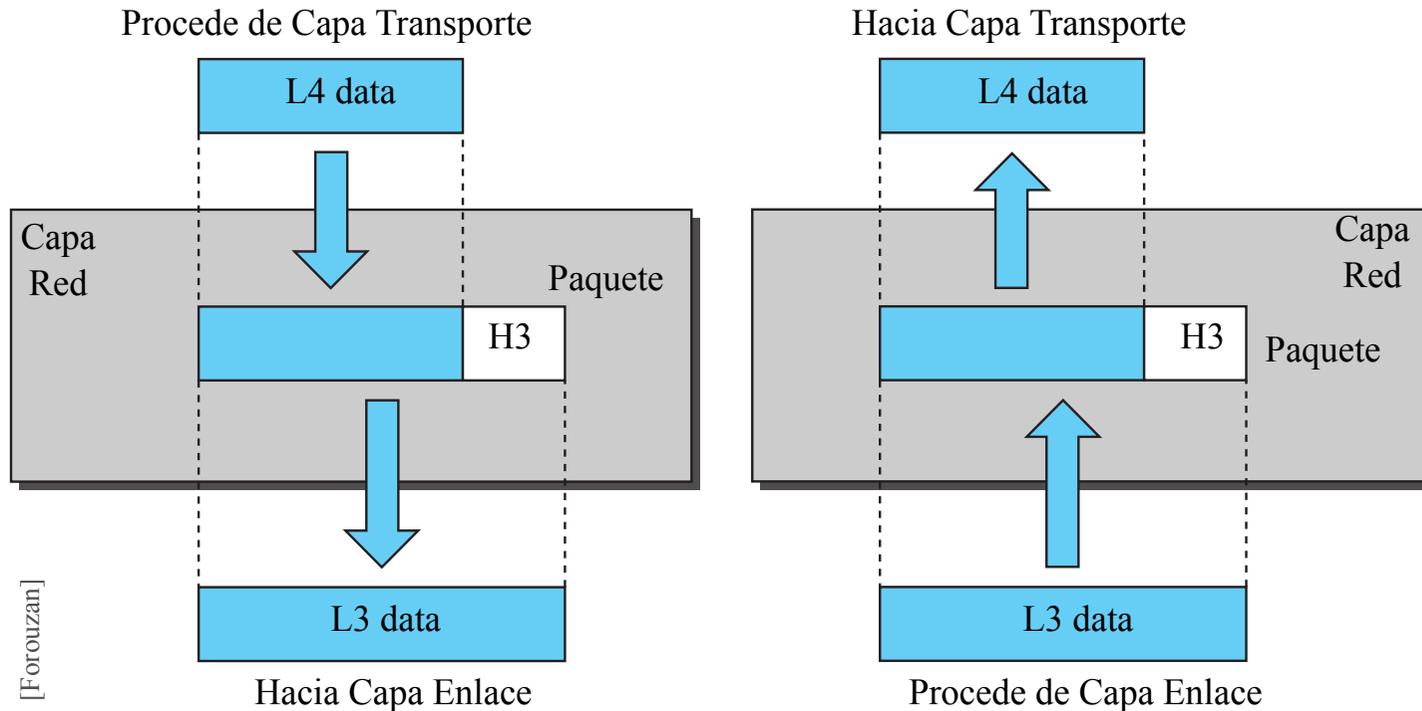
- Segmentación en tramas
- Control de errores a nivel enlace
- Direccionamiento físico
- Control de flujo extremo a red
- Coordinación de la comunicación

Modelo OSI: nivel enlace (II)



El nivel de enlace, se encarga entre otras, del direccionamiento en el segmento de red (dirección física).

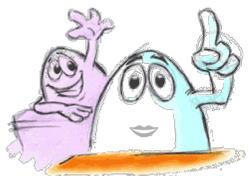
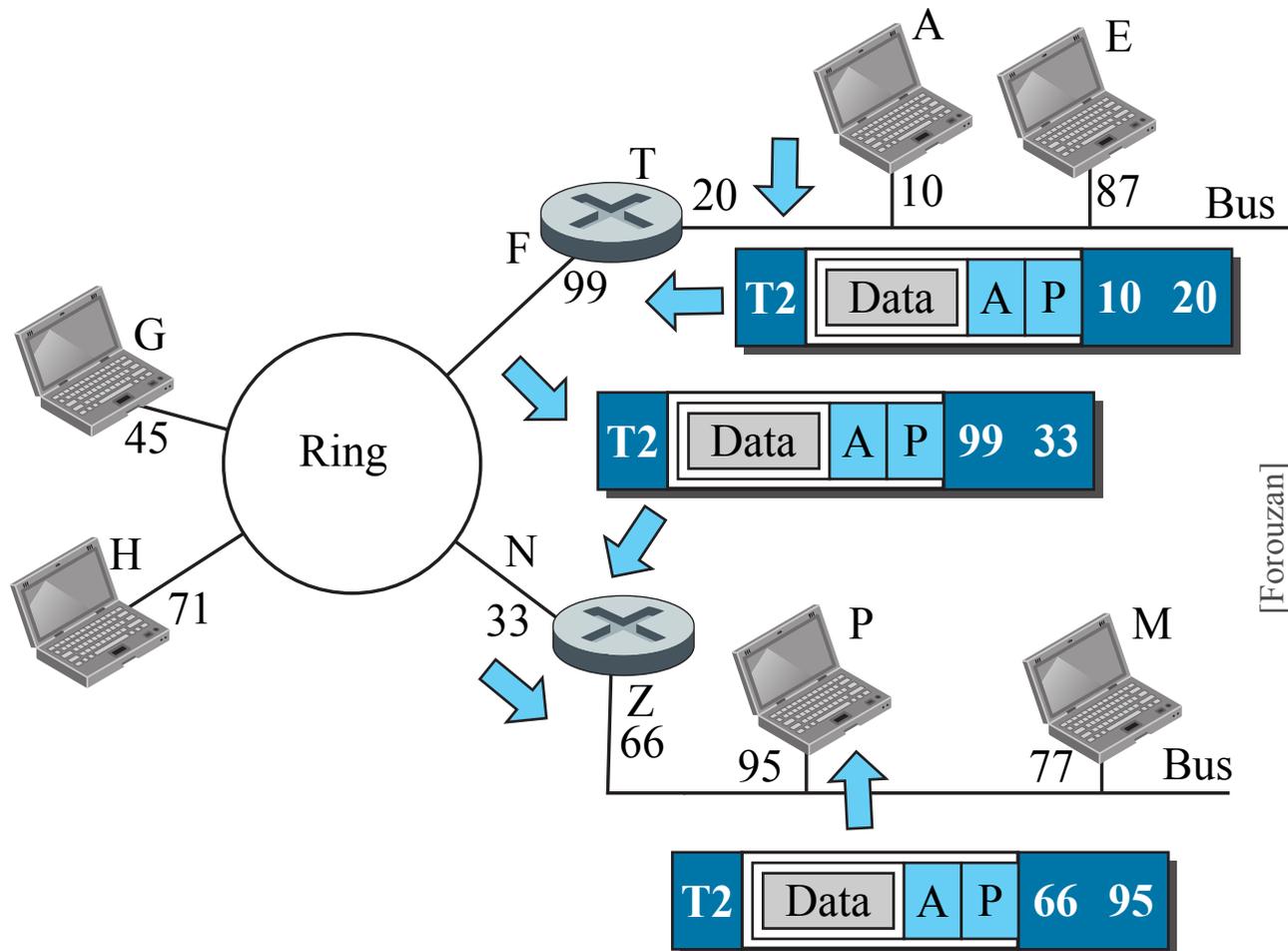
Modelo OSI: nivel red (I)



Funciones:

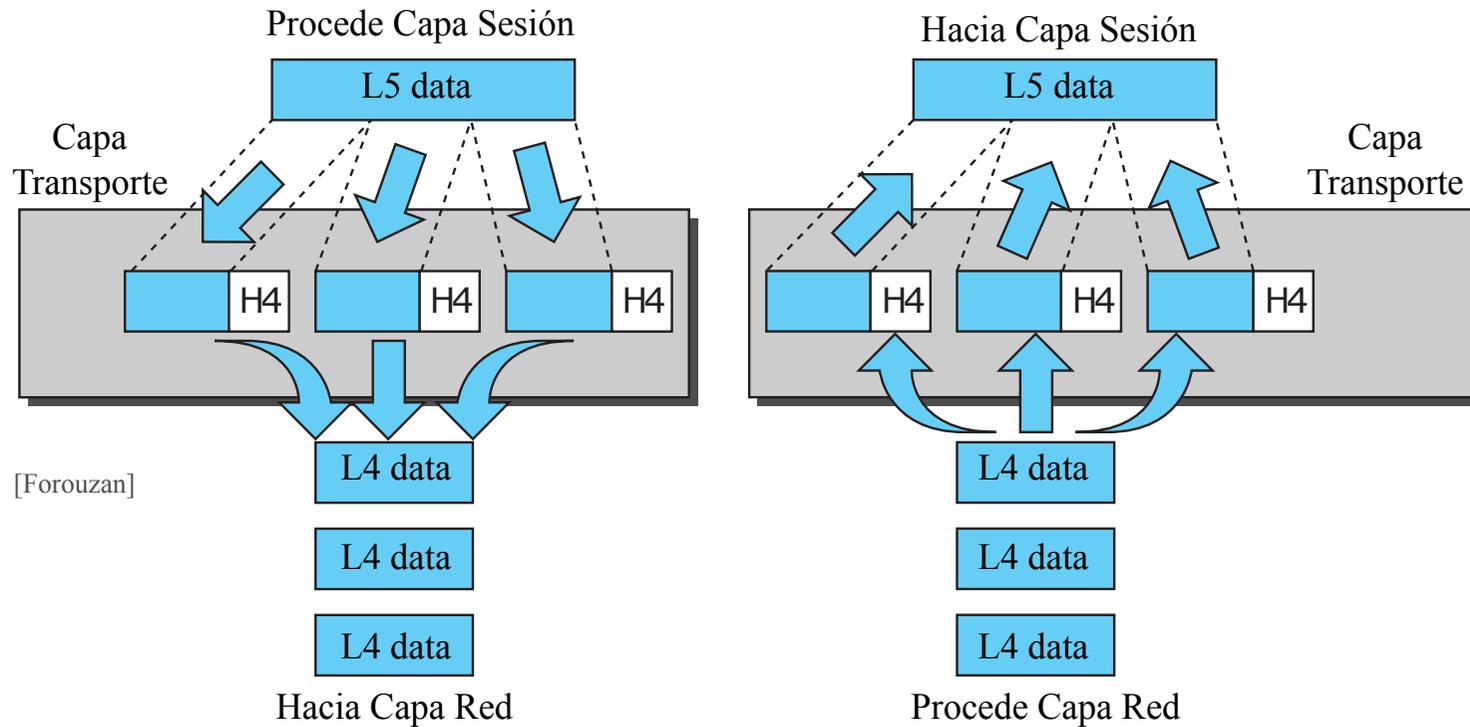
- Enrutamiento
- Control de congestión

Modelo OSI: nivel red (II)



El nivel de red, se encarga del direccionamiento global (dirección lógica).

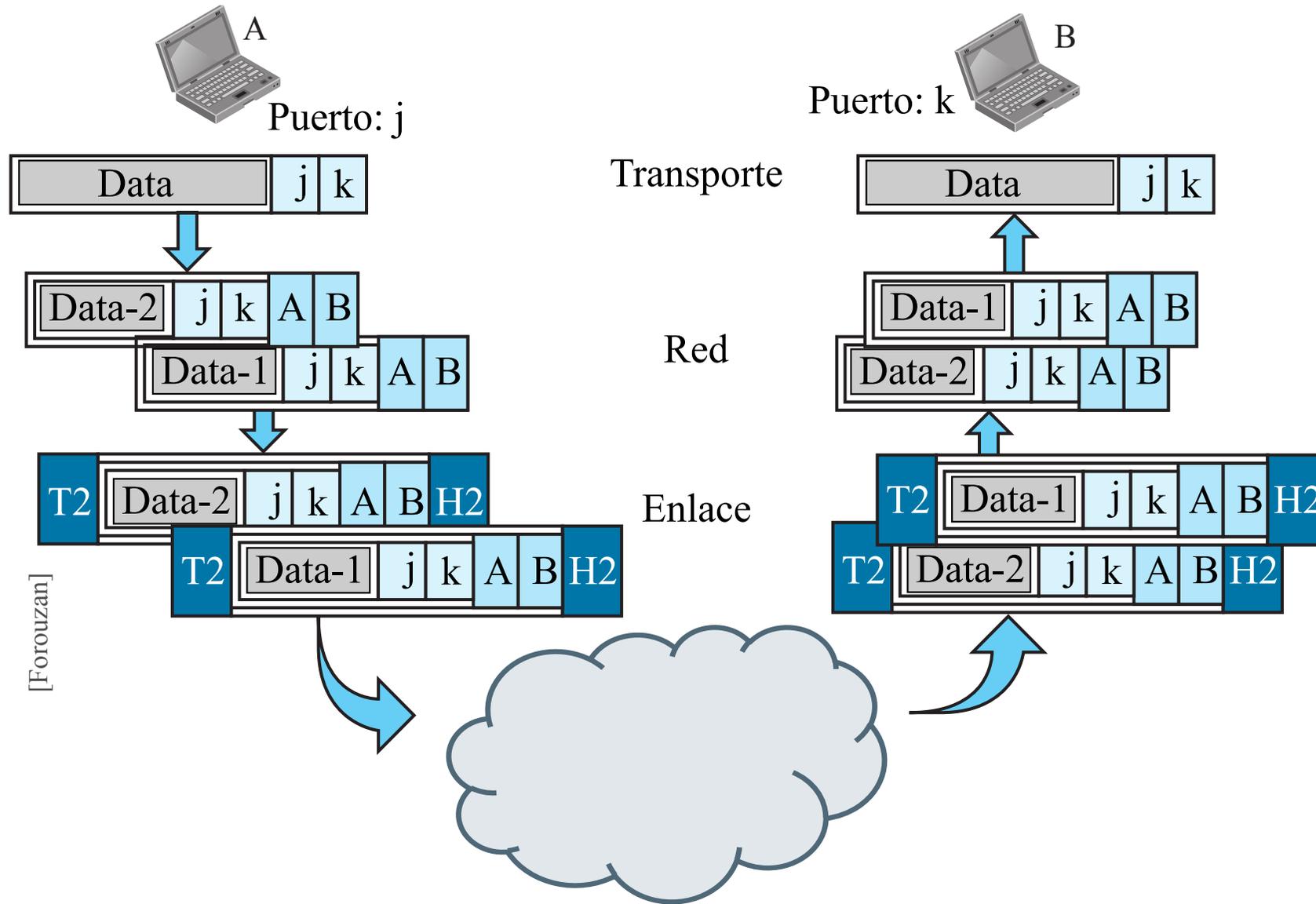
Modelo OSI: nivel transporte (I)



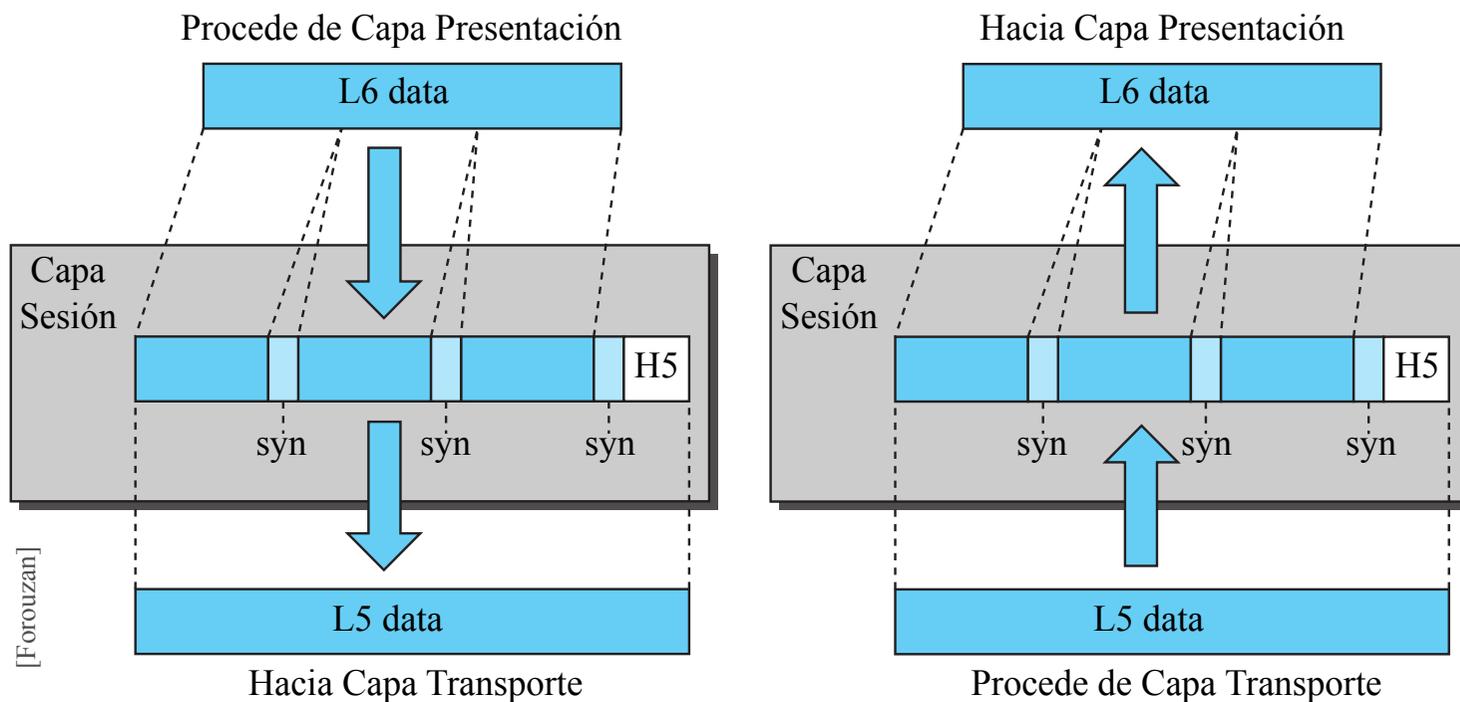
Funciones:

- Segmentación de paquetes
- Comunicación extremo-a-extremo
- Conexiones
- Control de flujo extremo-a-extremo
- Entrega fiable de mensajes

Modelo OSI: nivel transporte (II)



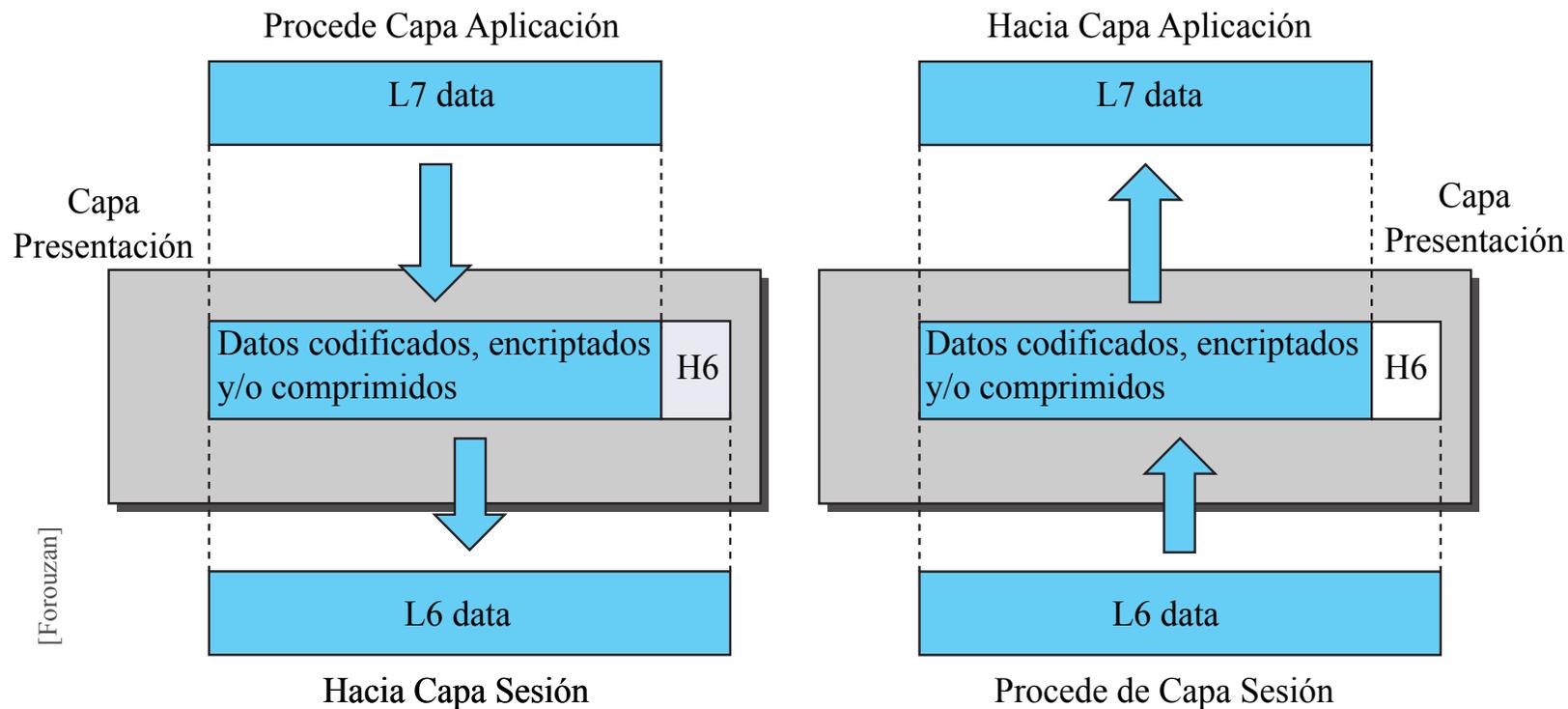
Modelo OSI: nivel sesión



Funciones:

- Establecimiento de sesiones
- Control de diálogo mediante *testigos*
- Puntos de sincronización

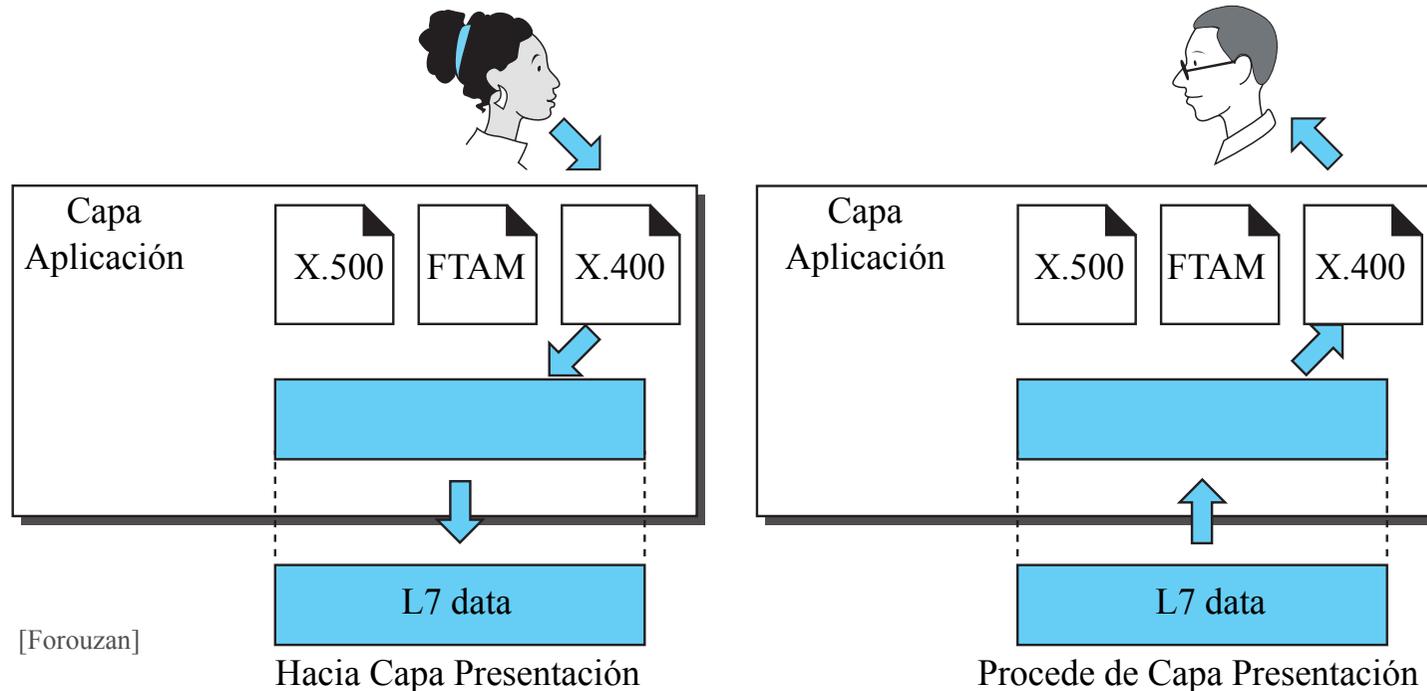
Modelo OSI: nivel presentación



Funciones:

- Sintaxis y semántica de los datos
- Codificación
- Encriptación
- Compresión

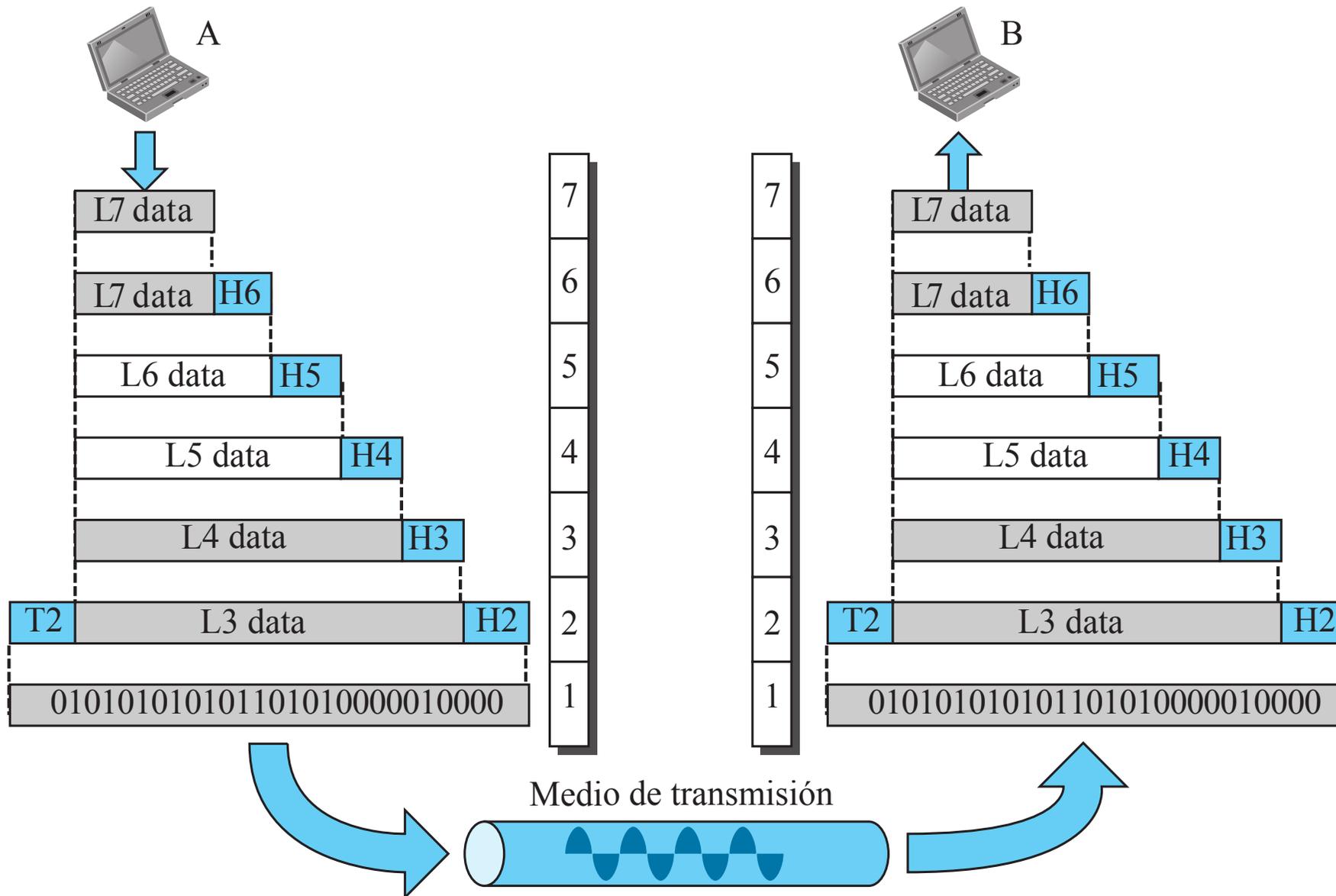
Modelo OSI: nivel aplicación



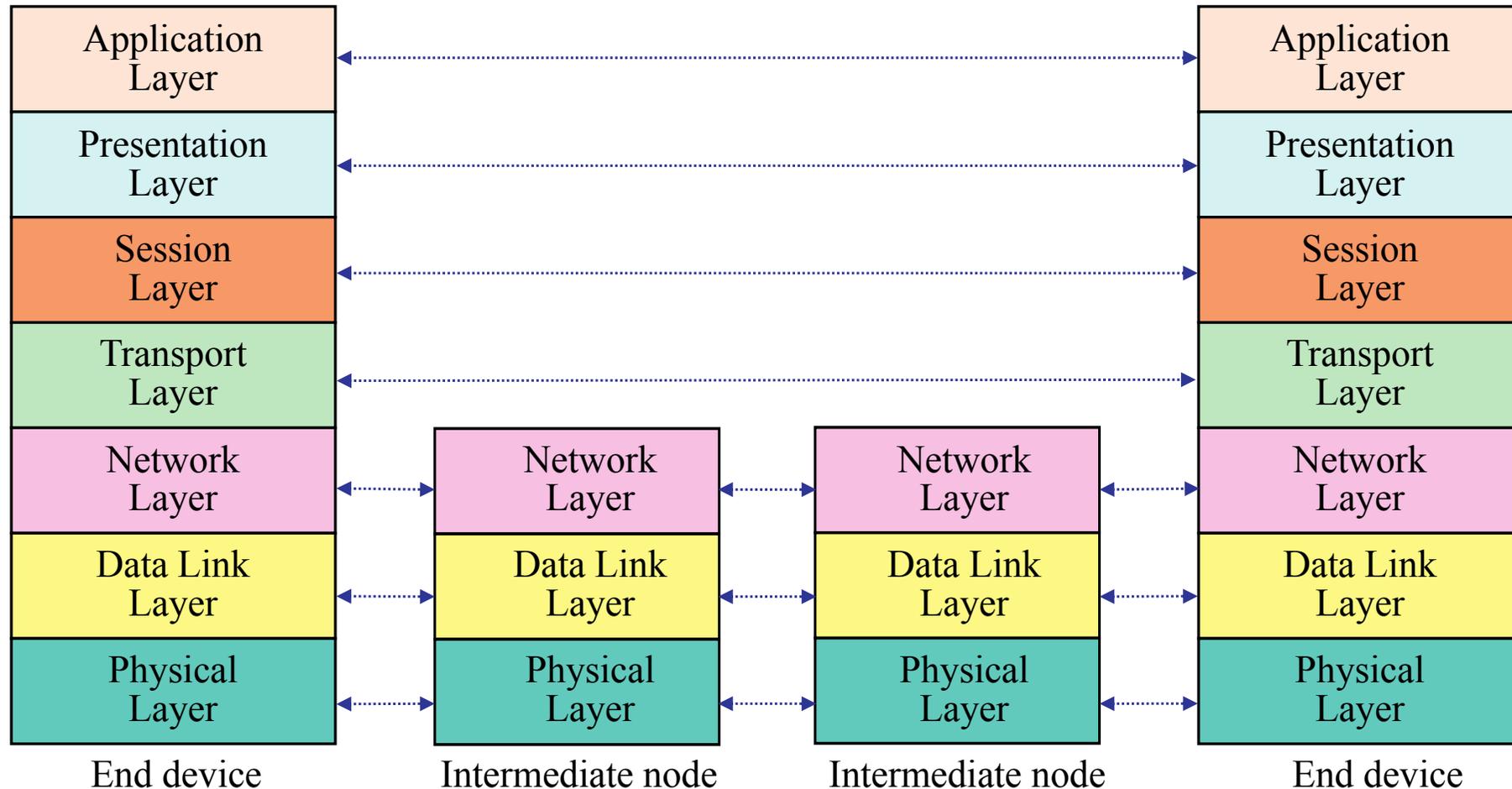
Funciones:

- Interfaz de usuario
- Aplicaciones de usuario
- WWW, FTP, Telnet, SSH, etc.

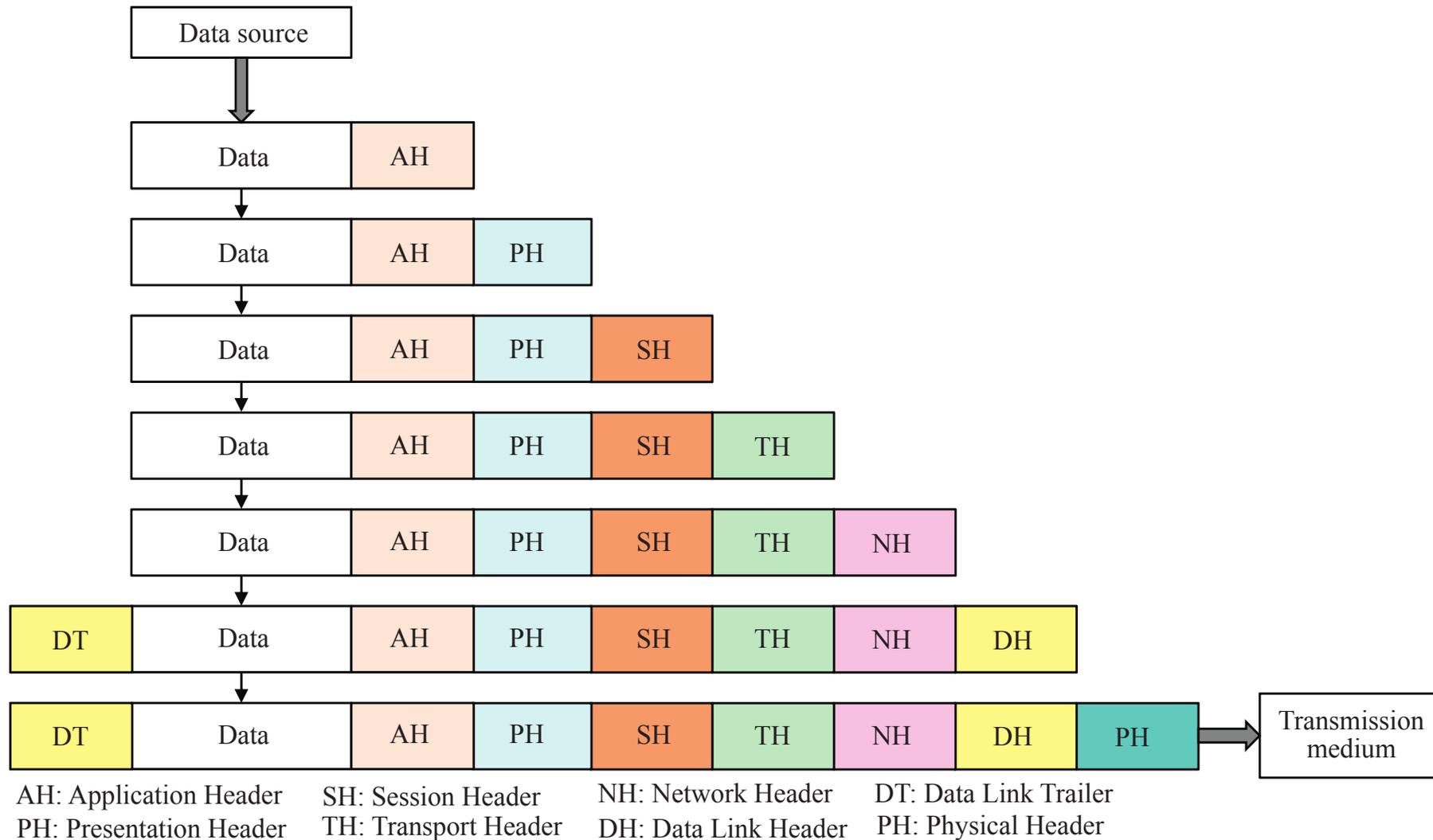
Modelo OSI: encapsulado/desencapsulado



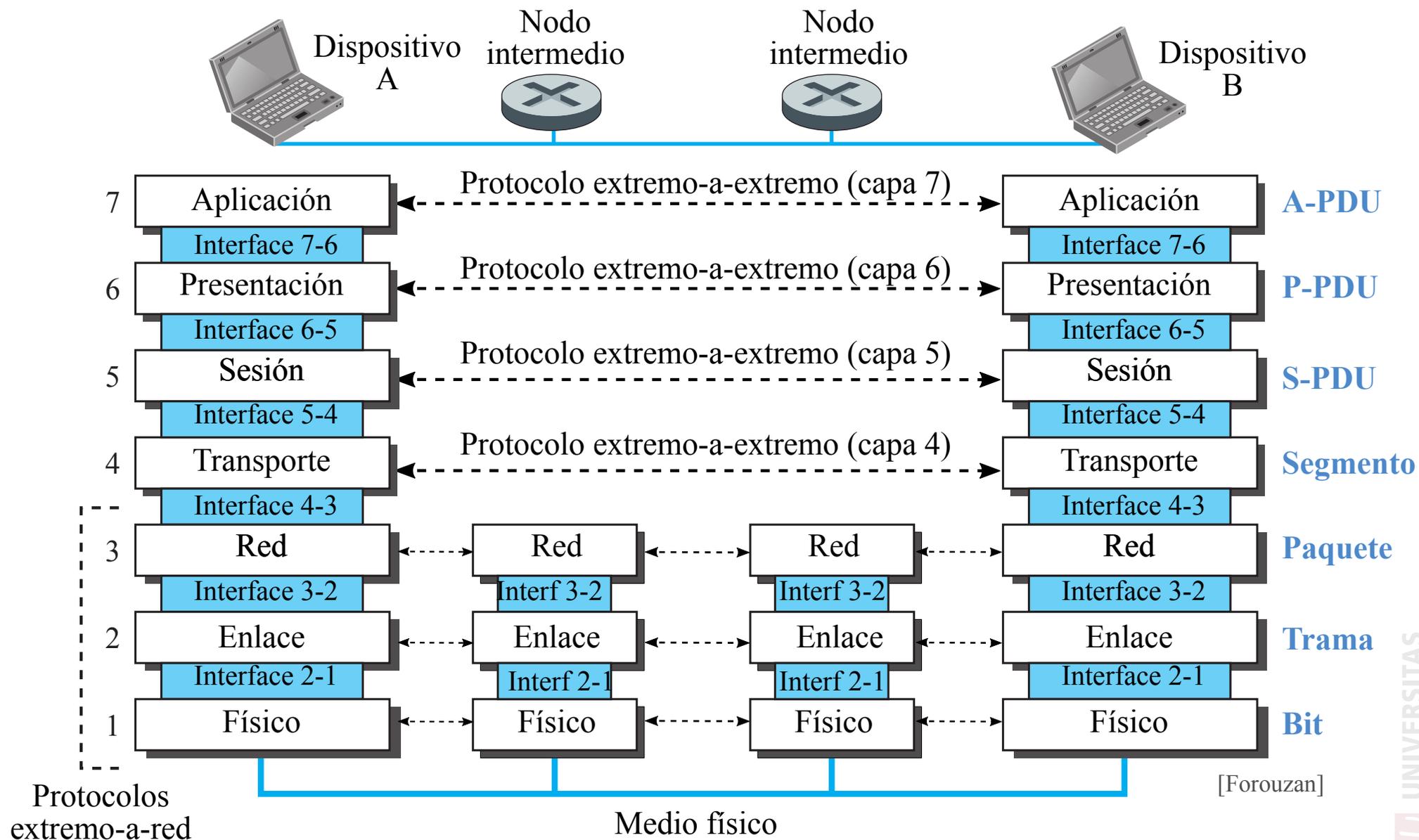
Modelo OSI: cabeceras (I)



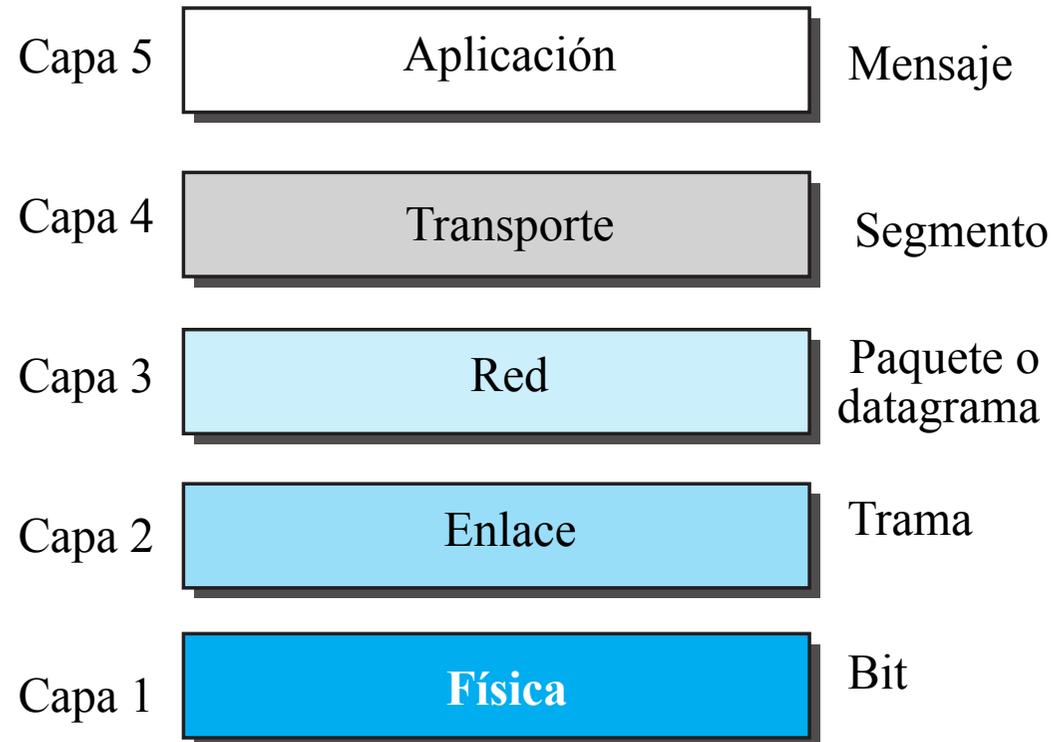
Modelo OSI: cabeceras (II)



Modelo OSI



Modelo TCP/IP (Internet) (I)



Modelo TCP/IP (Internet) (II)

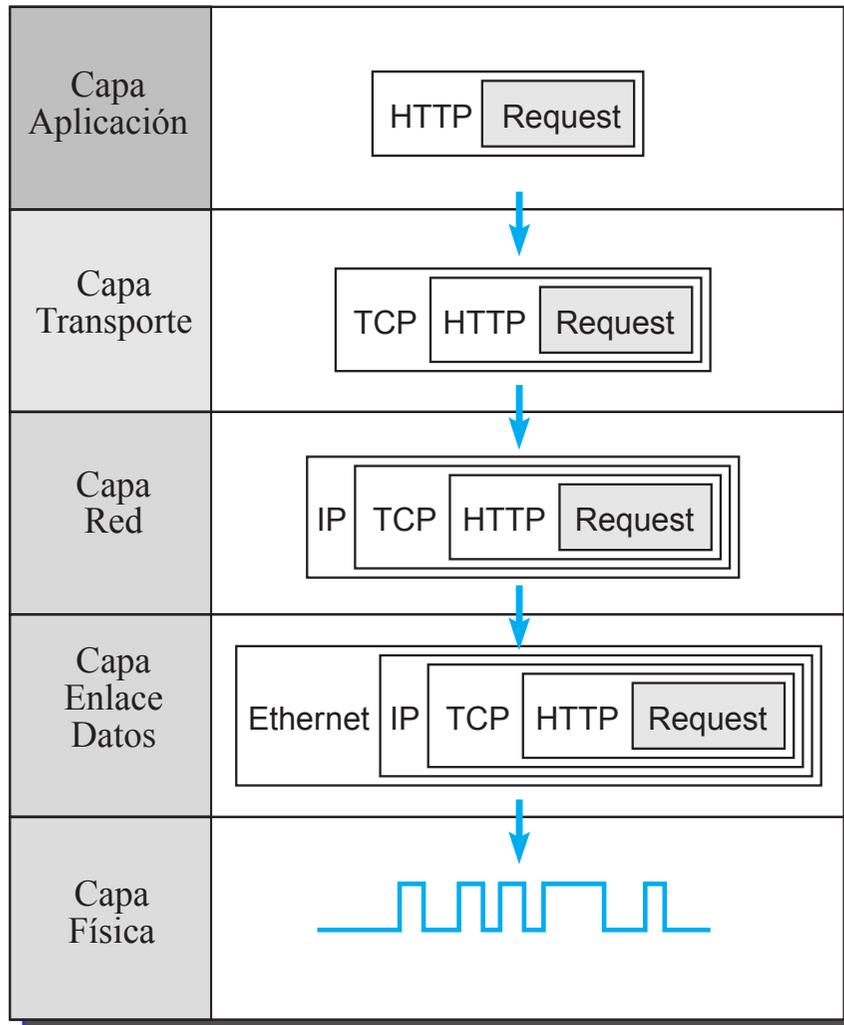


Emisor

Receptor



[Fitzgerald]



PDU

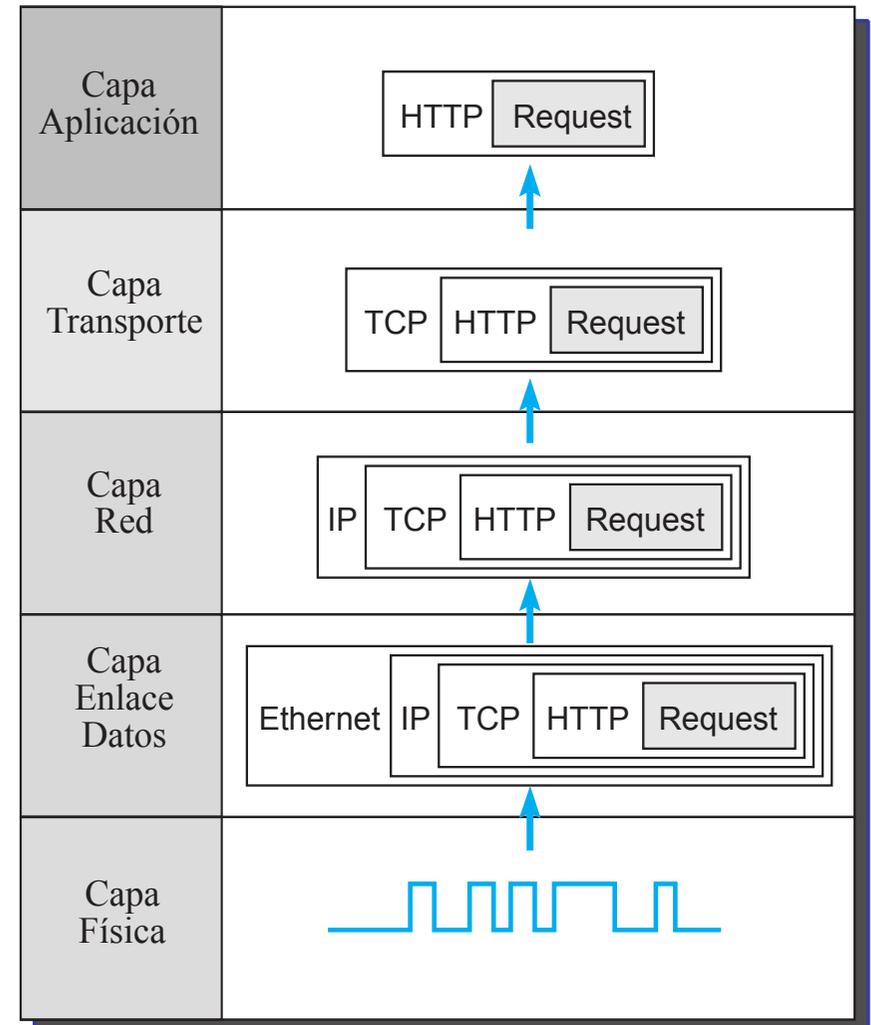
Mensaje

Segmento

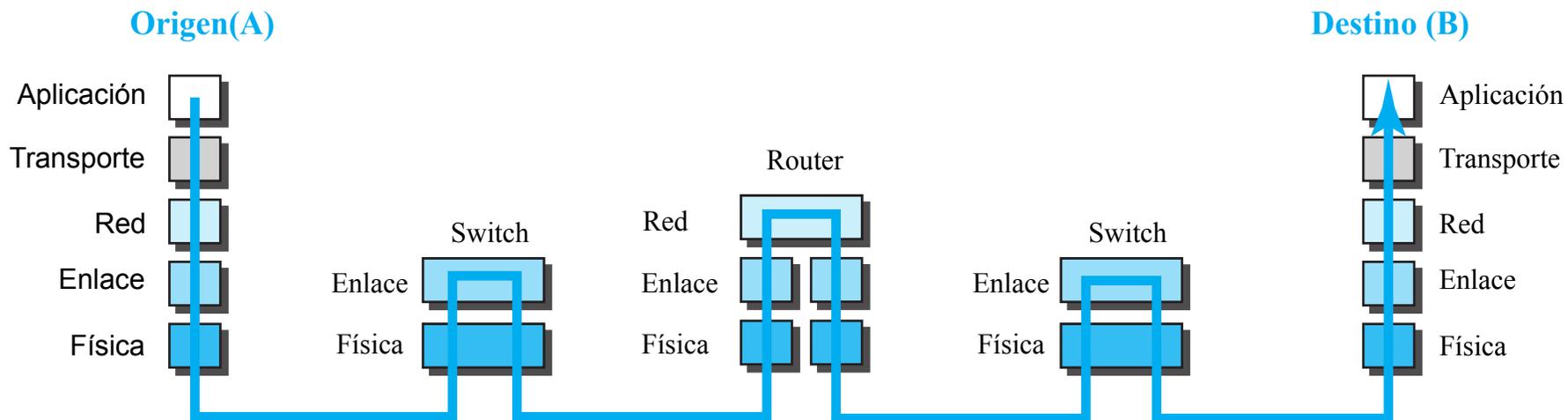
Paquete

Trama

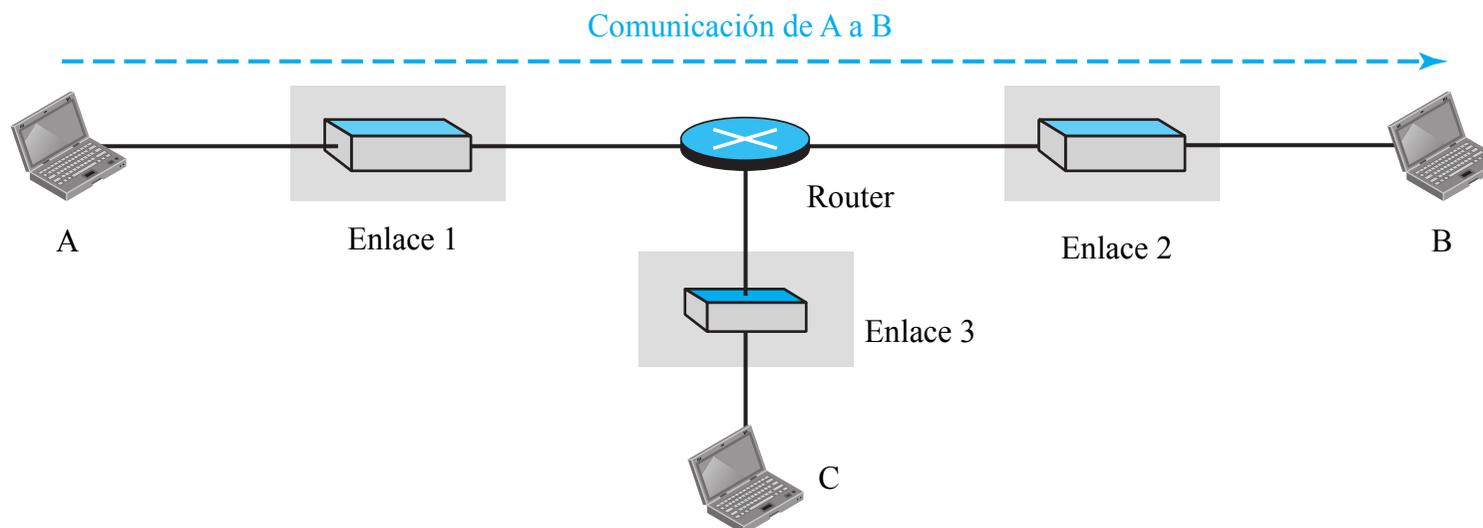
Bits



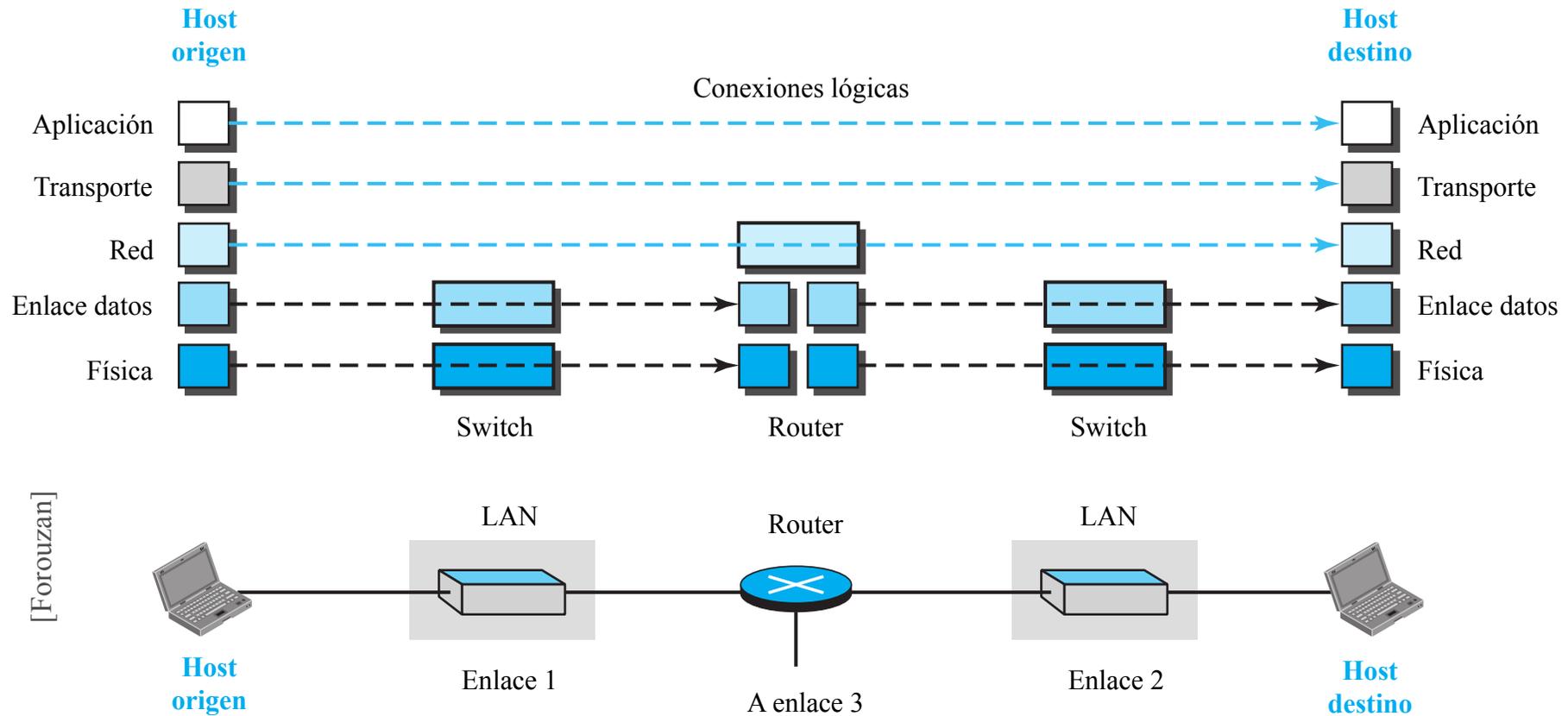
1er. principio: comunicación bidireccional



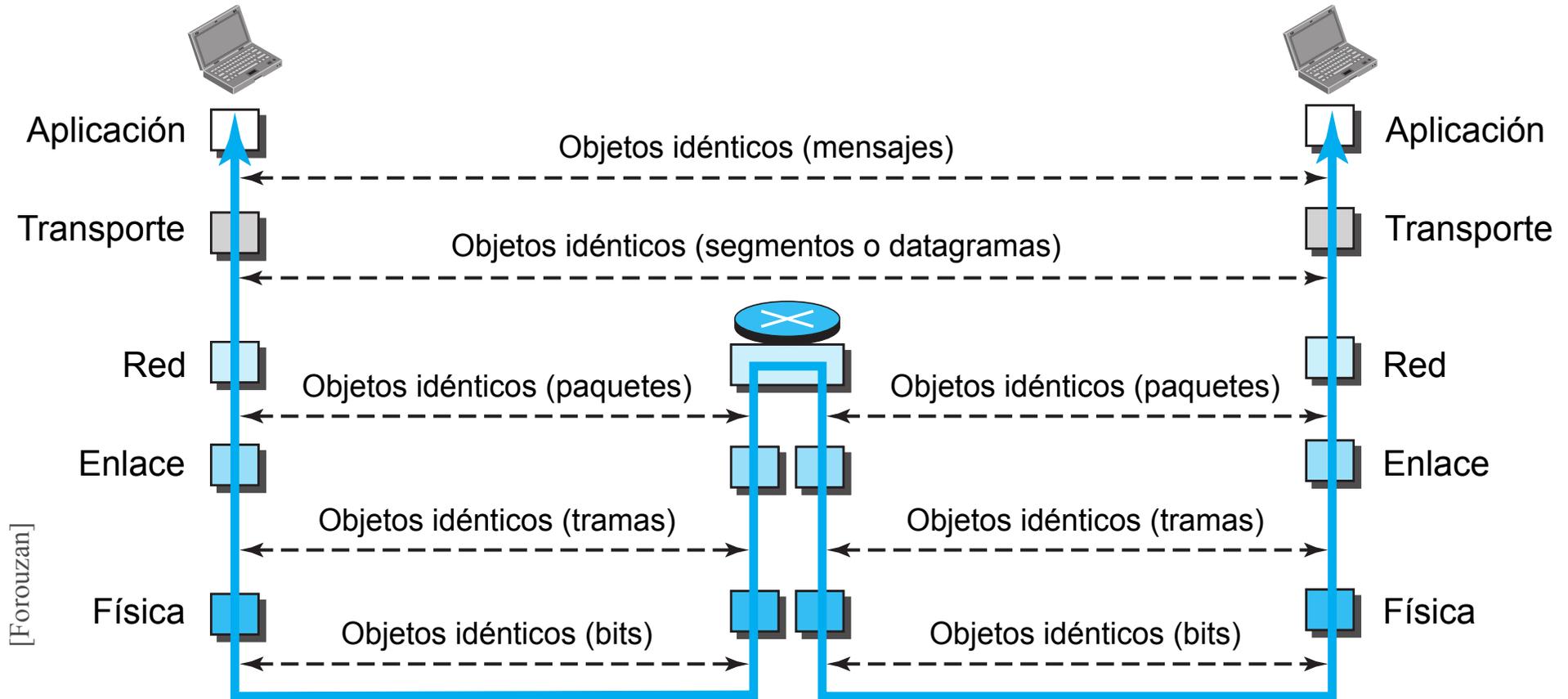
[Forouzan]



Conexiones lógicas y físicas



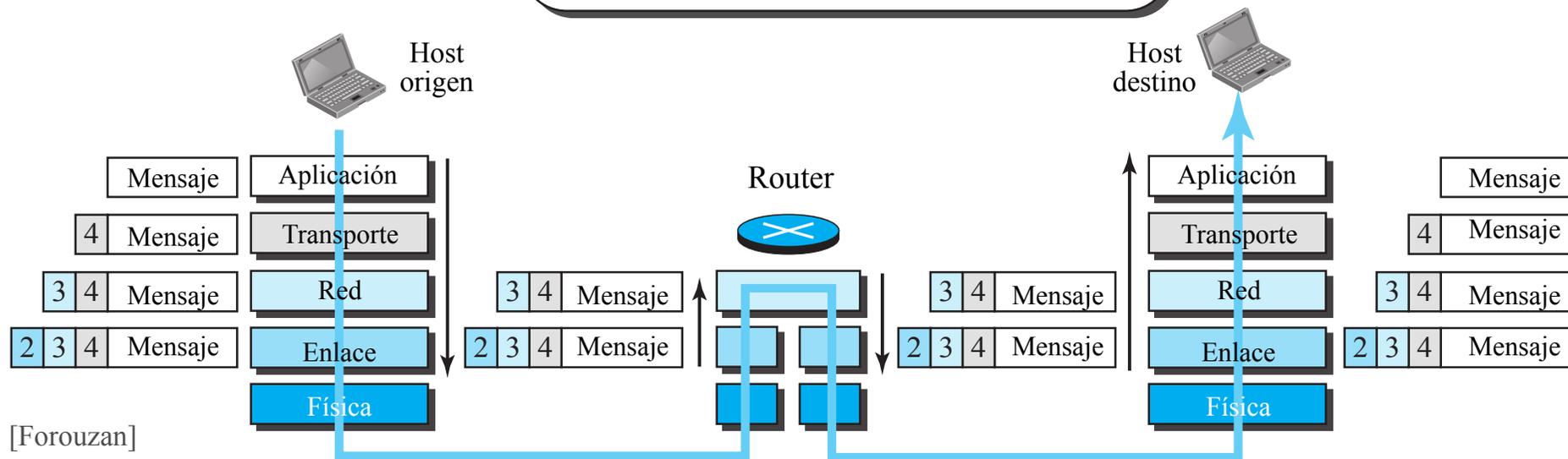
2º principio: objetos idénticos



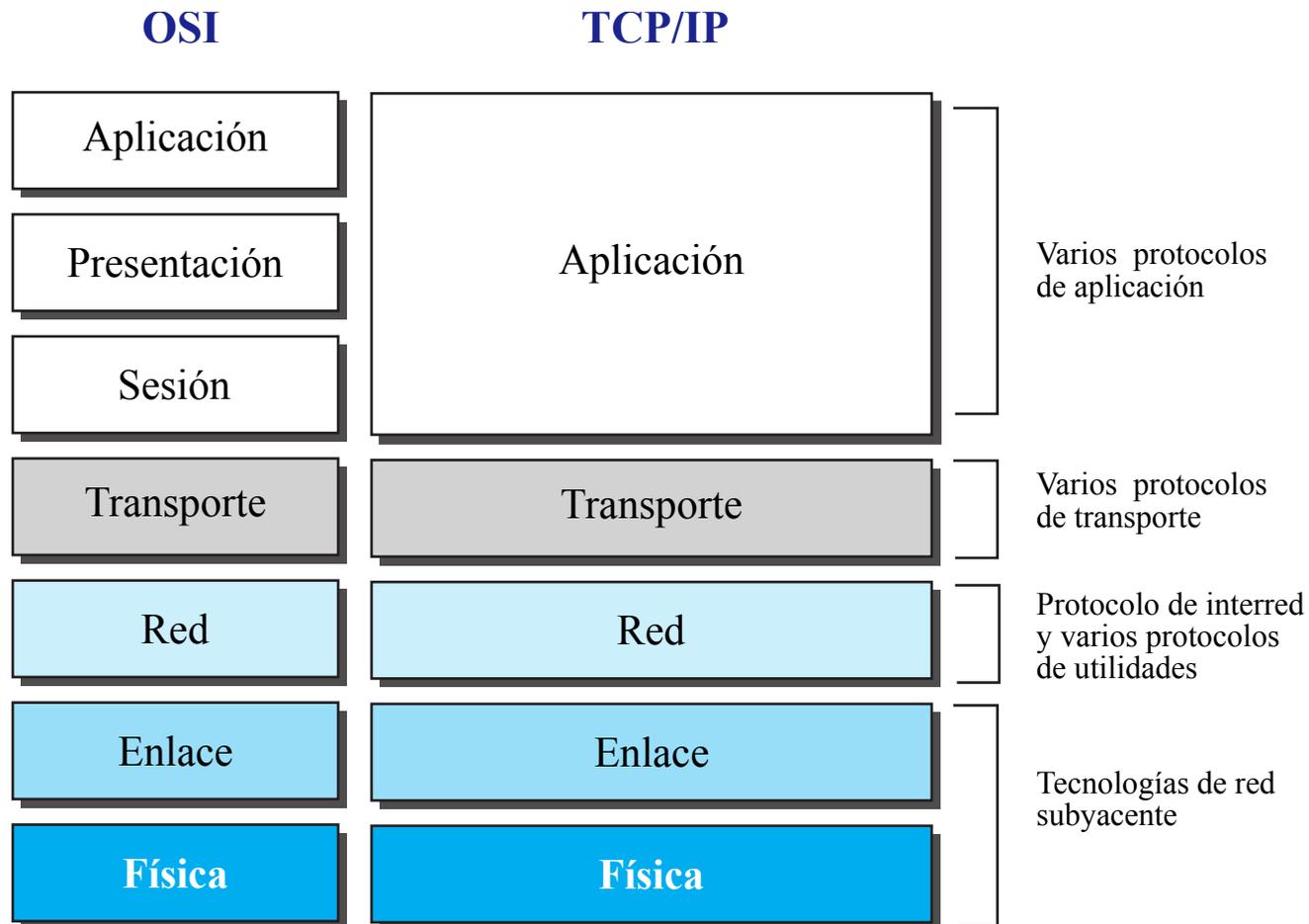
Encapsulado/desencapsulado TCP/IP

Leyenda:

- 4 Cabecera a nivel transporte ↓ Encapsular
- 3 Cabecera a nivel red ↓ Encapsular
- 2 Cabecera a nivel enlace de datos ↑ Desencapsular



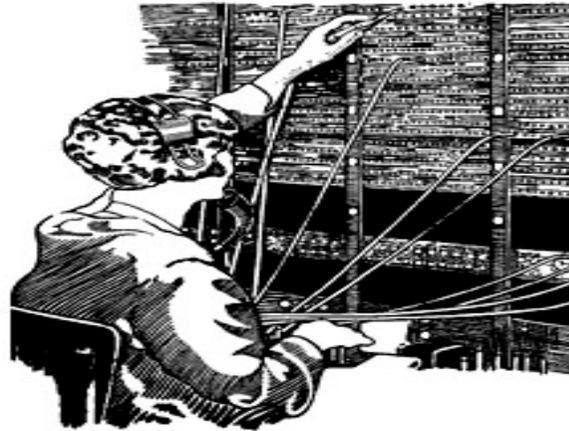
OSI vs TCP/IP



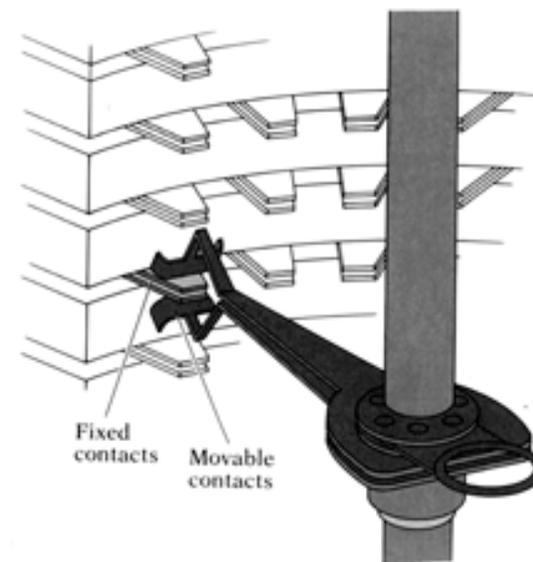
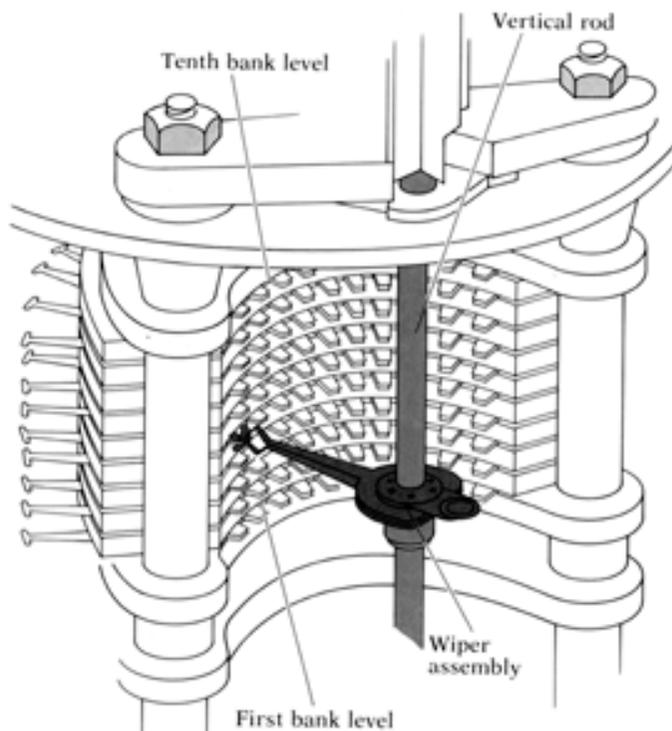
1. Introducción
2. Terminología y clasificación
3. Redes de borde y núcleo
4. Modelo en capas
5. Modelos de referencia
- 6. *Redes de conmutación***
7. Rendimiento



Historia: conmutadores electromecánicos (telefonía)

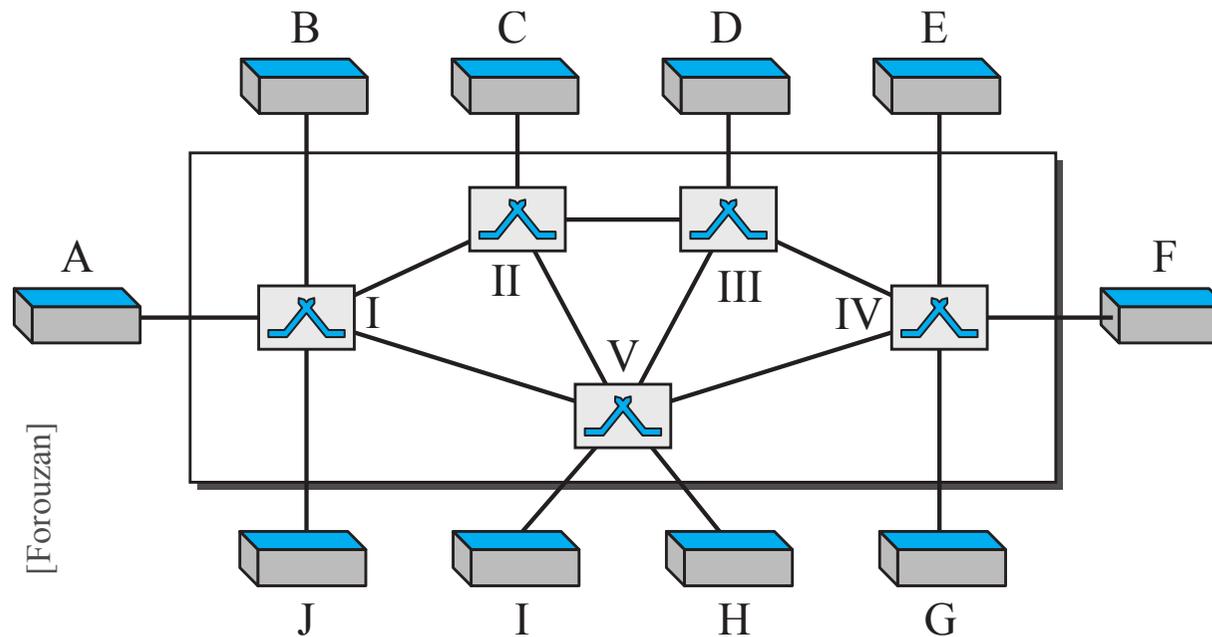


Cord switchboard

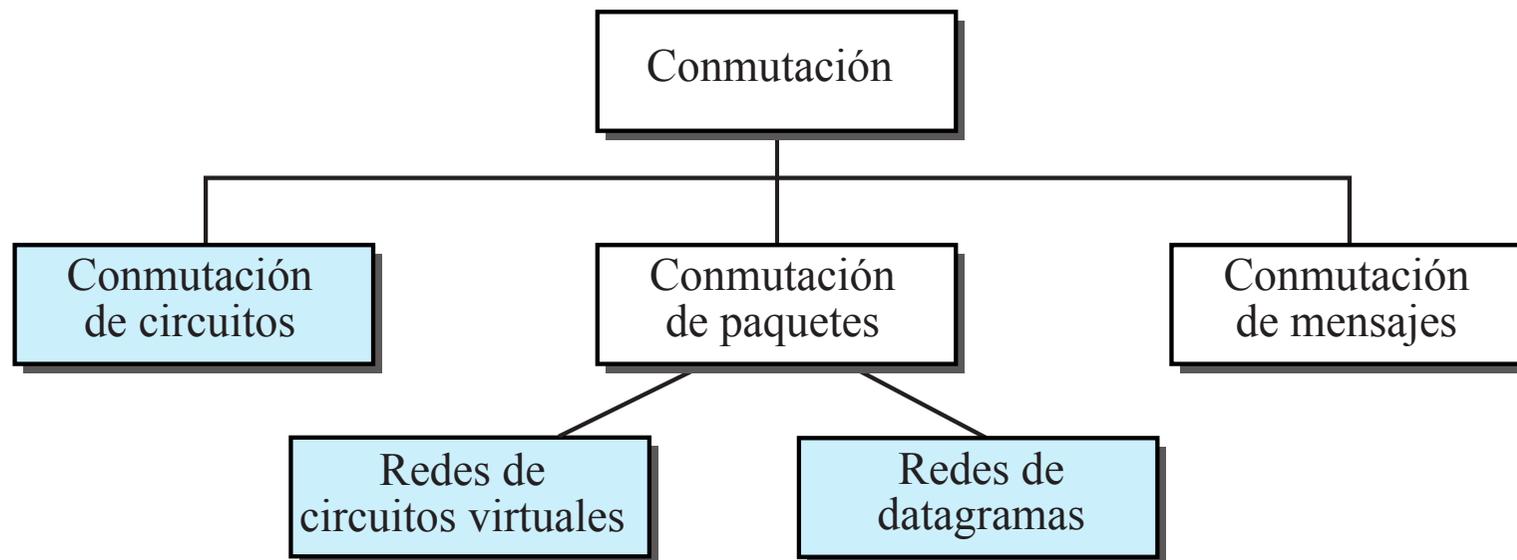


The movable contacts in a step-by-step switch can connect to any of a 100 different pairs of fixed contacts, each leading to a different line.

Conmutadores (switches)

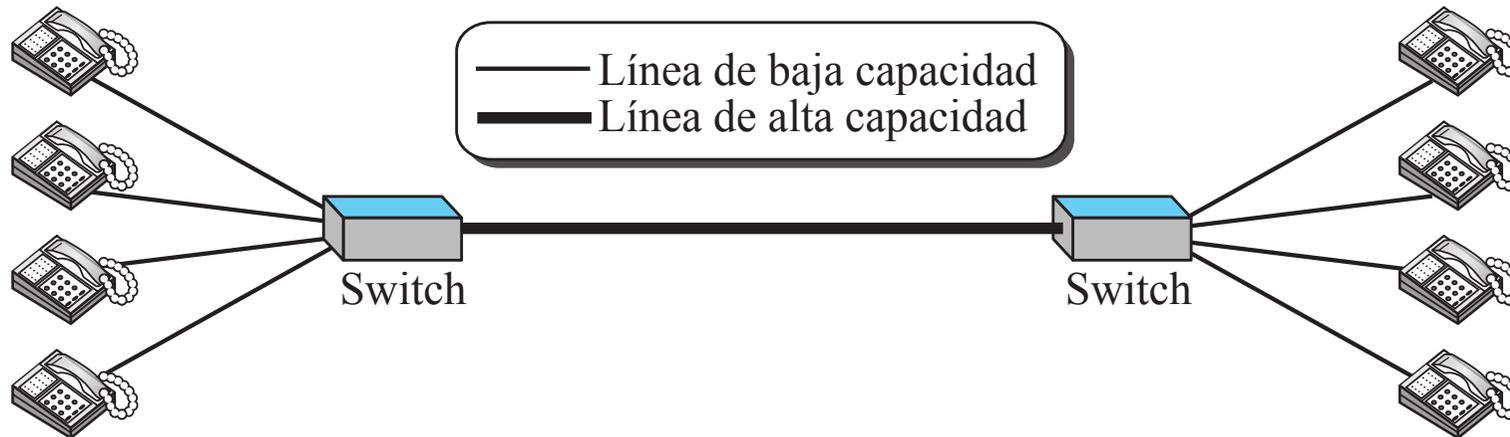


Tipos de redes conmutadas

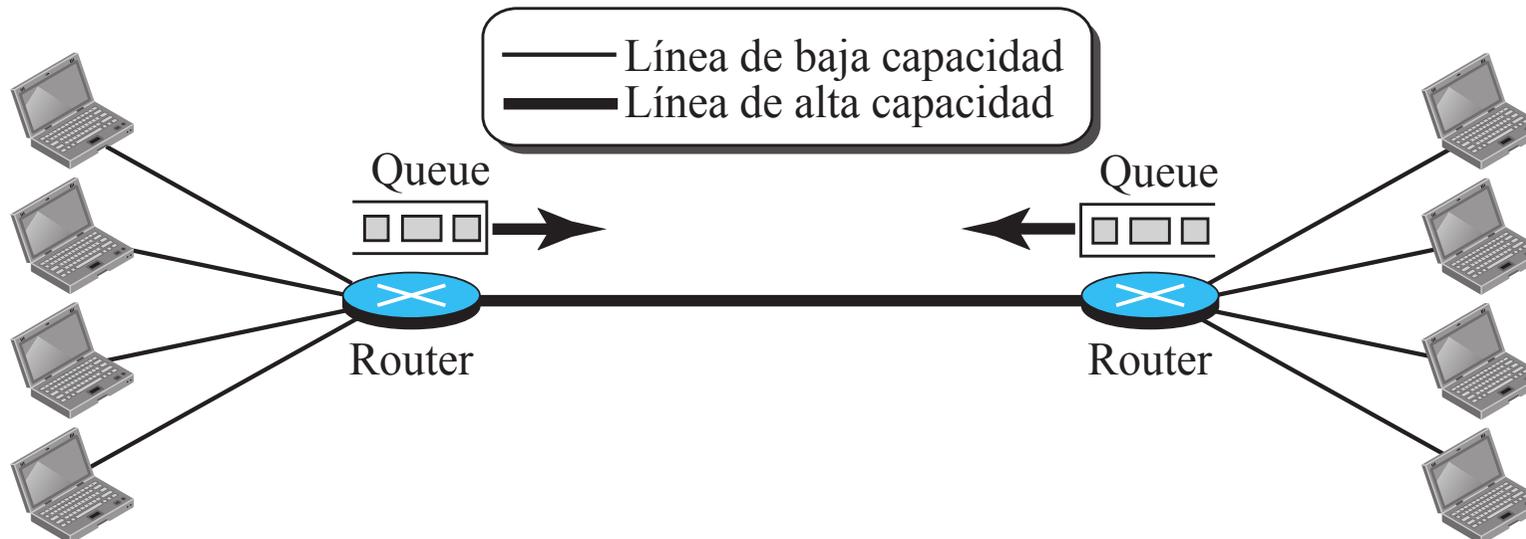


Conmutación

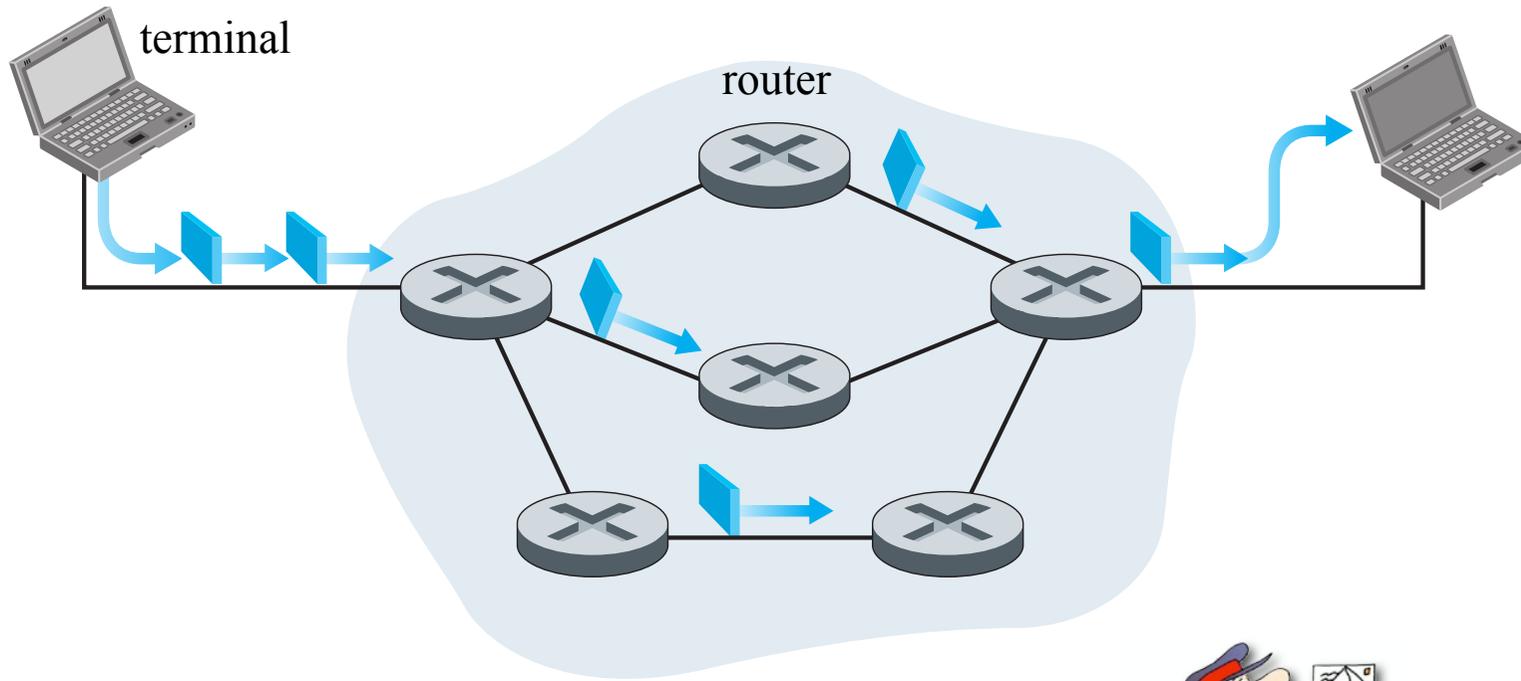
Conmutación de circuitos:



Conmutación de paquetes:



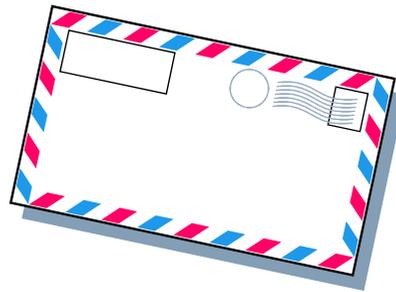
Conmutación de paquetes \equiv sistema postal



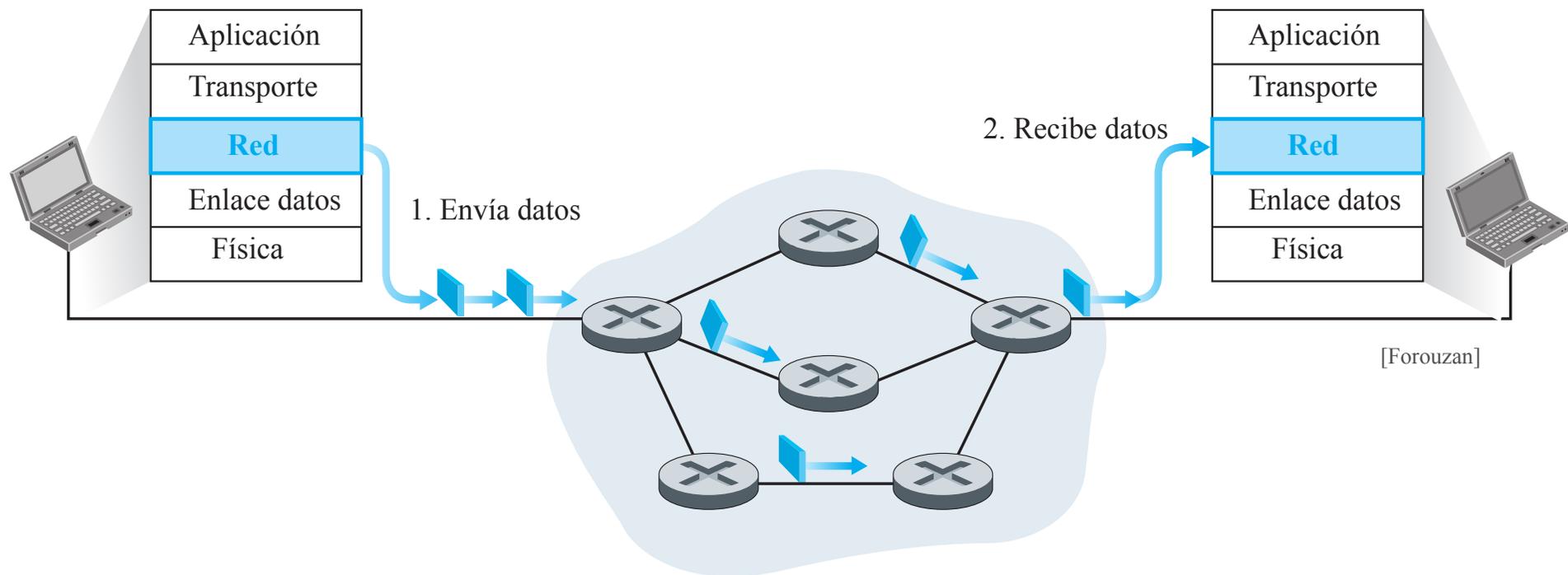
cabecera datos



paquete



Conmutación de paquetes



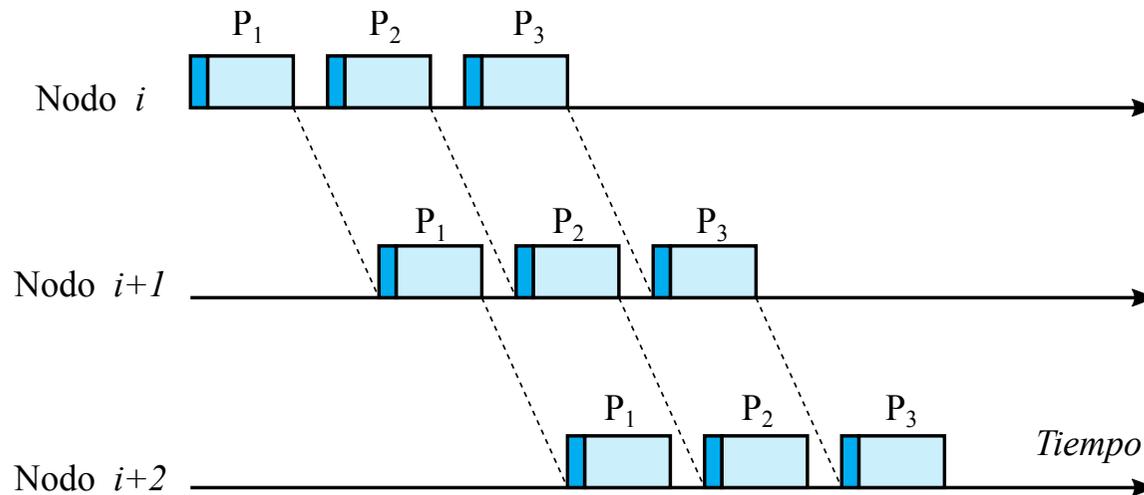
Los mensajes entre sistemas finales son troceados en **paquetes** o **datagramas** (**conmutación de paquetes**).

Los paquetes viajan a través de enlaces y conmutadores de paquetes (routers y switches). Cada paquete es transmitido al enlace a una tasa de transmisión igual a la máxima tasa de transmisión del enlace.

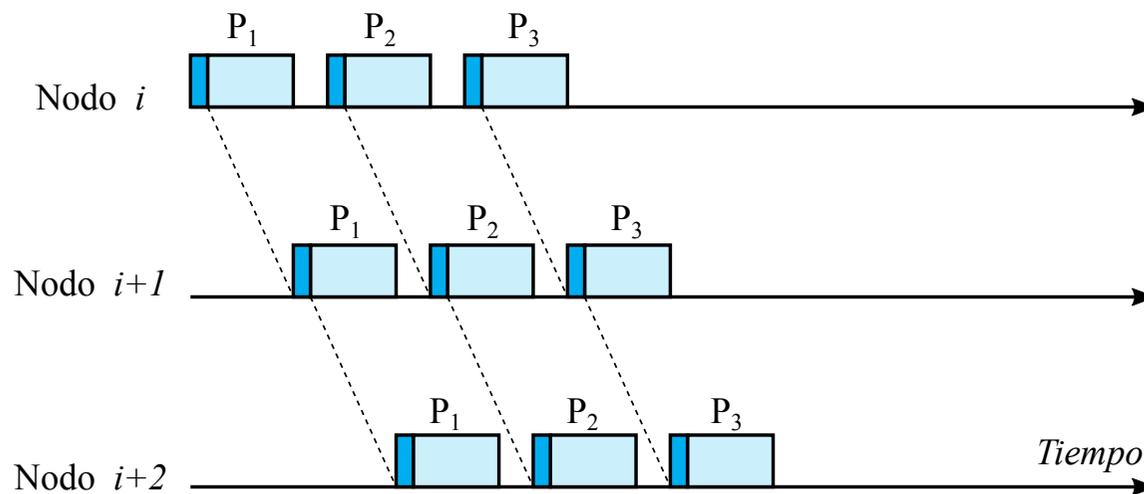
Un paquete de L bits transmitido sobre un enlace a una tasa de transmisión de R bits/s, el tiempo de transmisión del paquete es L/R segundos.

Conmutación de paquetes: retransmisión

Store-and-forward: el paquete debe ser completamente recibido antes de ser retransmitido sobre el siguiente enlace.



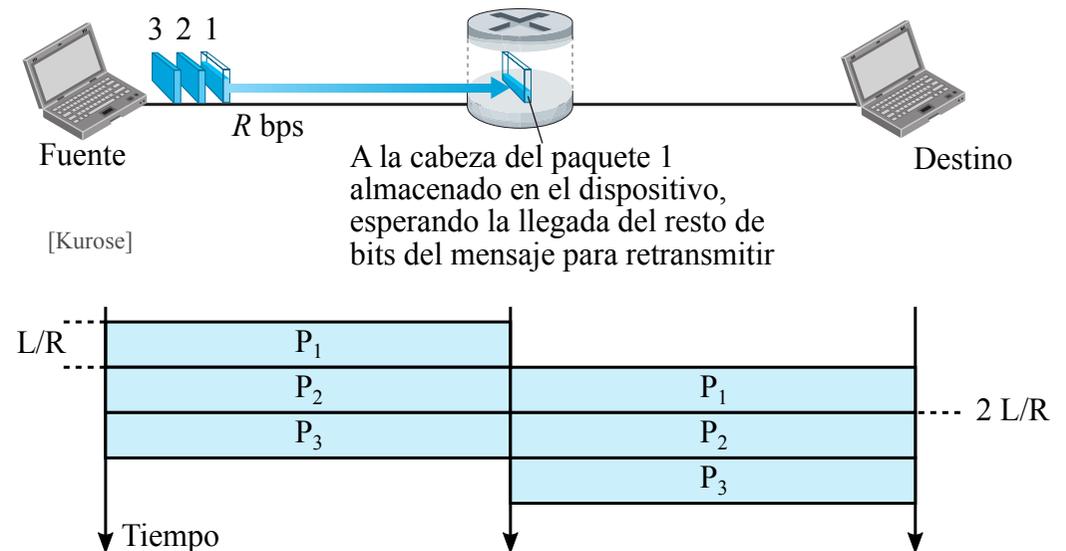
Cut-Through: la retransmisión se puede iniciar una vez se ha recibido la cabecera.



Transmisión *Store-and-forward*

En **Store-and-forward** el conmutador debe recibir el paquete entero antes de poder retransmitir el primer bit del paquete por el enlace de salida:

- La fuente tiene tres paquetes, cada uno de L bits, para enviar hacia el destino.
- El primer paquete ha sido transmitido hacia el destino, y el primer bit del primer paquete ha alcanzado el dispositivo.
- Una vez el dispositivo ha recibido todo el paquete, lo retransmite hacia el destino.



Para calcular el retardo extremo-a-extremo:

- La fuente empieza a transmitir en instante 0 a una tasa de transmisión R .
- En el instante L/R , el paquete ha sido transmitido entero y alcanzado el primer dispositivo (suponemos no hay retardo de propagación).
- En el segundo dispositivo, el paquete habrá sido totalmente transmitido en el instante $2L/R$.

Retardo en colas y pérdida de paquetes (I)

Cada conmutador de paquetes dispone de varios enlaces.

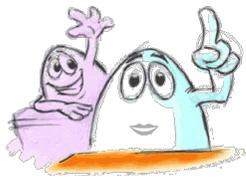
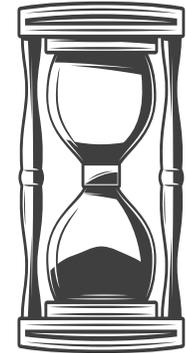
Cada enlace dispone de un buffer de salida (cola de salida) que almacena los paquetes antes de enviarlo al enlace.

Si el enlace de salida está ocupado, los paquetes entrantes son encolados en el buffer, y por tanto, sufren el denominado **retardo en cola**.

Los retardos en cola dependen de la **congestión** de la red.

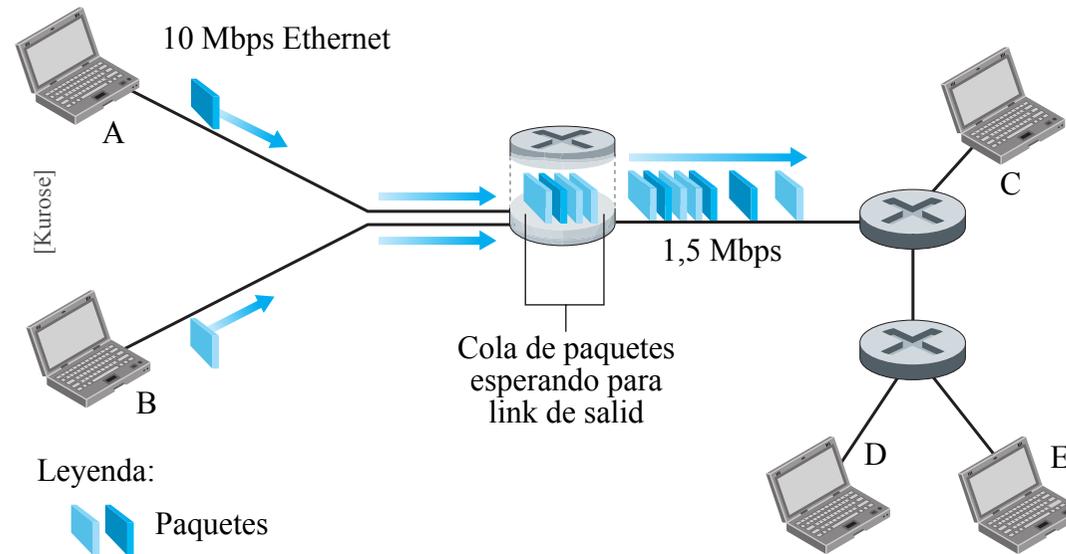
Evidentemente, el tamaño de los buffers es finito.

Si el nivel de congestión alto, los paquetes tienen que esperar en la cola, los buffers se llenan, y por tanto, si alcanza el límite físico de cola, los paquetes nuevos entrantes empezarán a ser descartados, produciendo **pérdida de paquetes**.



El cálculo del tamaño y retardo en colas queda fuera del alcance de esta asignatura.

Retardo en colas y pérdida de paquetes (II)



Supongamos Hosts A y B enviando paquetes al Host E.

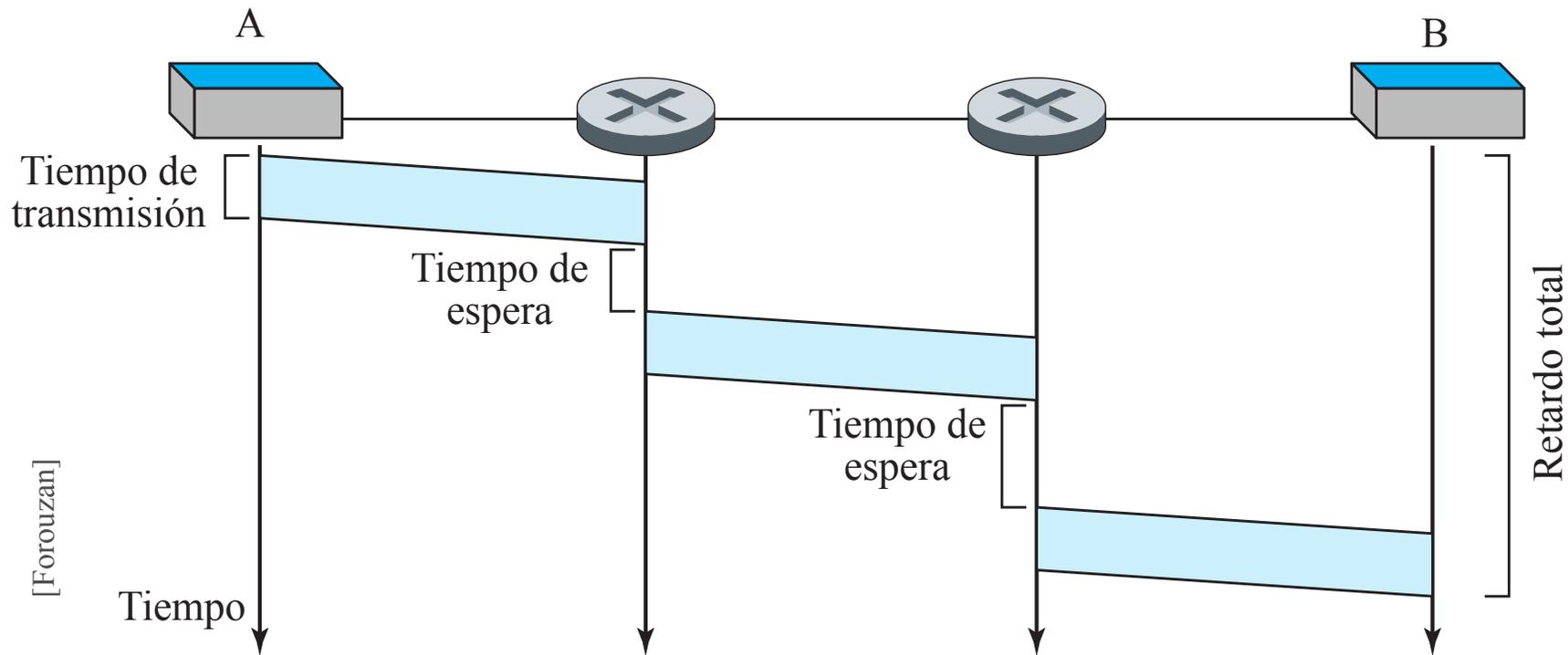
Hosts A y B envían paquetes sobre enlaces Ethernet 10 Mbps al primer dispositivo.

El primer dispositivo tiene que redirigir estos paquetes hacia un enlace a 1,5 Mbps.

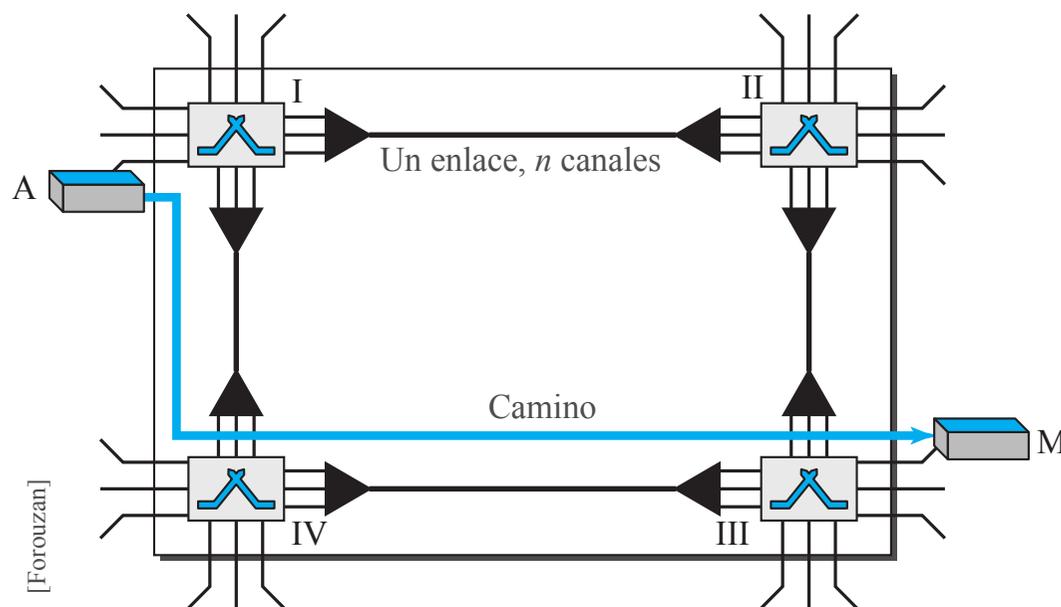
Si en algún instante de tiempo, la tasa de llegada supera 1,5 Mbps, se producirá **congestión**, y los paquetes se encolarán en el buffer de salida antes de ser retransmitidos.

Si la congestión perdura en el tiempo, inevitablemente se llega al **descarte de paquetes**.

Redes de datagramas: retardo

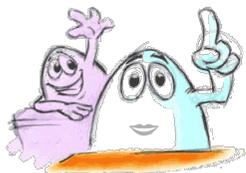


Redes de conmutación de circuitos



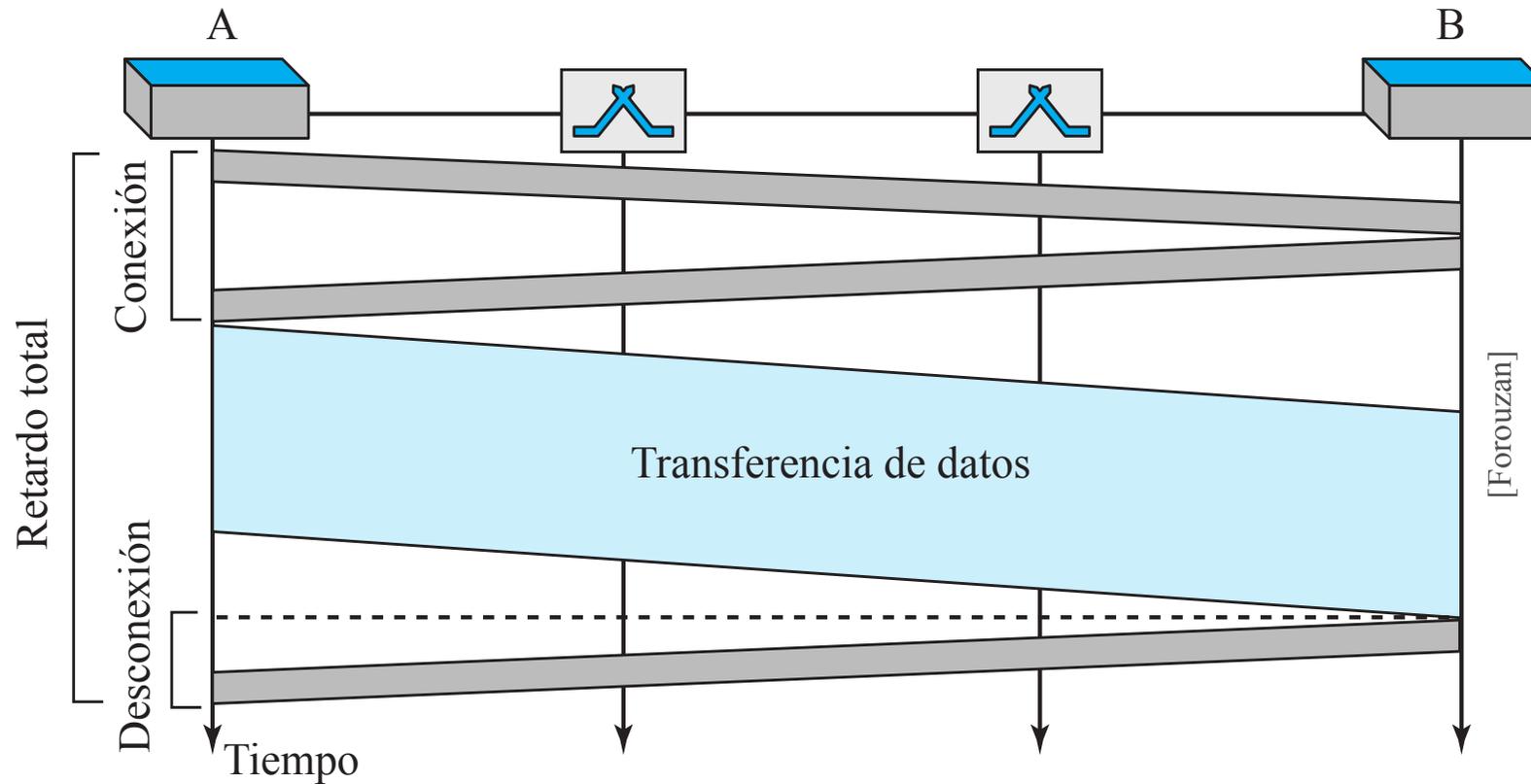
En redes de **conmutación de circuitos**, los recursos a lo largo del canal (bufferes, enlace, tasa de transmisión) para proporcionar la comunicación entre sistemas finales, se reservan durante la sesión de comunicación entre ambos sistemas. Cada conexión se denomina **circuito**.

En redes de **conmutación de paquetes**, no se reservan los recursos; los mensajes de una sesión utilizan los recursos bajo demanda, y por lo tanto, es posible que tengan que esperar en el acceso a los enlaces de comunicación.



En redes de conmutación de circuitos, todos los mensajes se transmiten por el mismo camino.

Redes de conmutación de circuitos: retardo



Conmutación de circuitos vs conmutación de paquetes

Algunas críticas hacia la conmutación de paquetes:

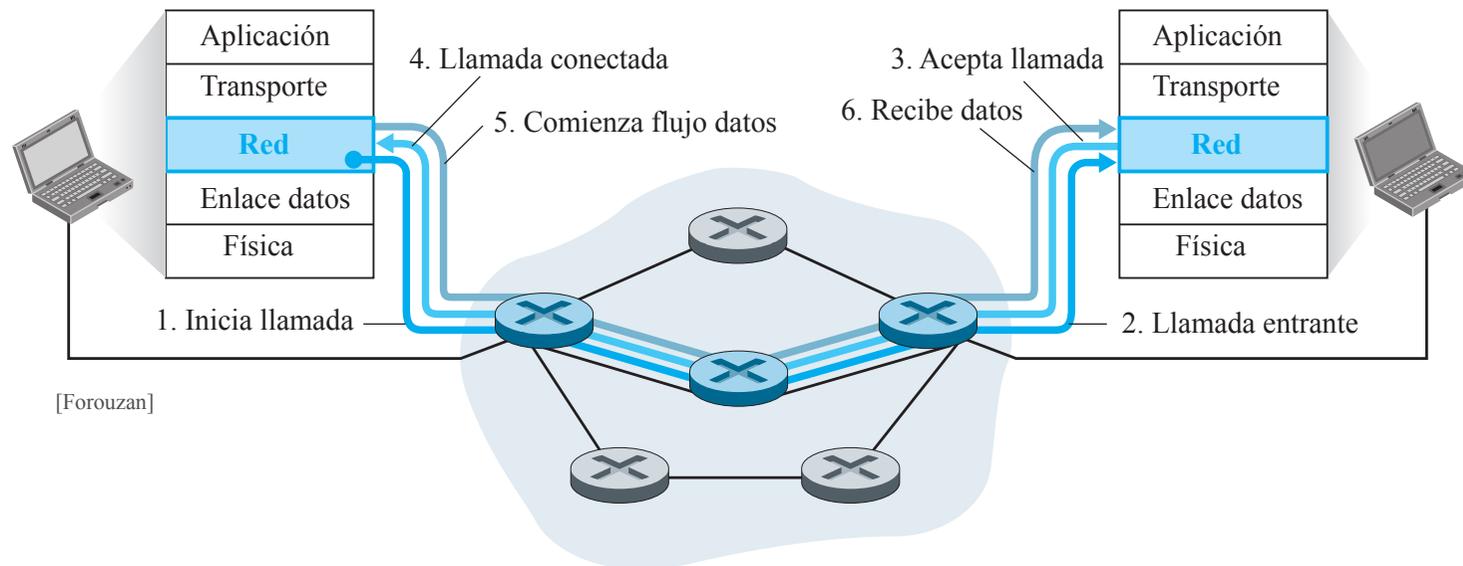
La conmutación de paquetes no es apropiada para servicios en tiempo real (por ejemplo, teléfono y videoconferencia) debido a los retardos extremo-a-extremo variable e impredecible (los retardos de cola son impredecibles).



Los defensores de la conmutación de paquetes argumentan:

- 1 Realiza un mejor y más equitativo reparto de la capacidad de transmisión que conmutación de circuitos.
- 2 Más simple, más eficiente y menos costoso de implementar que conmutación de circuitos

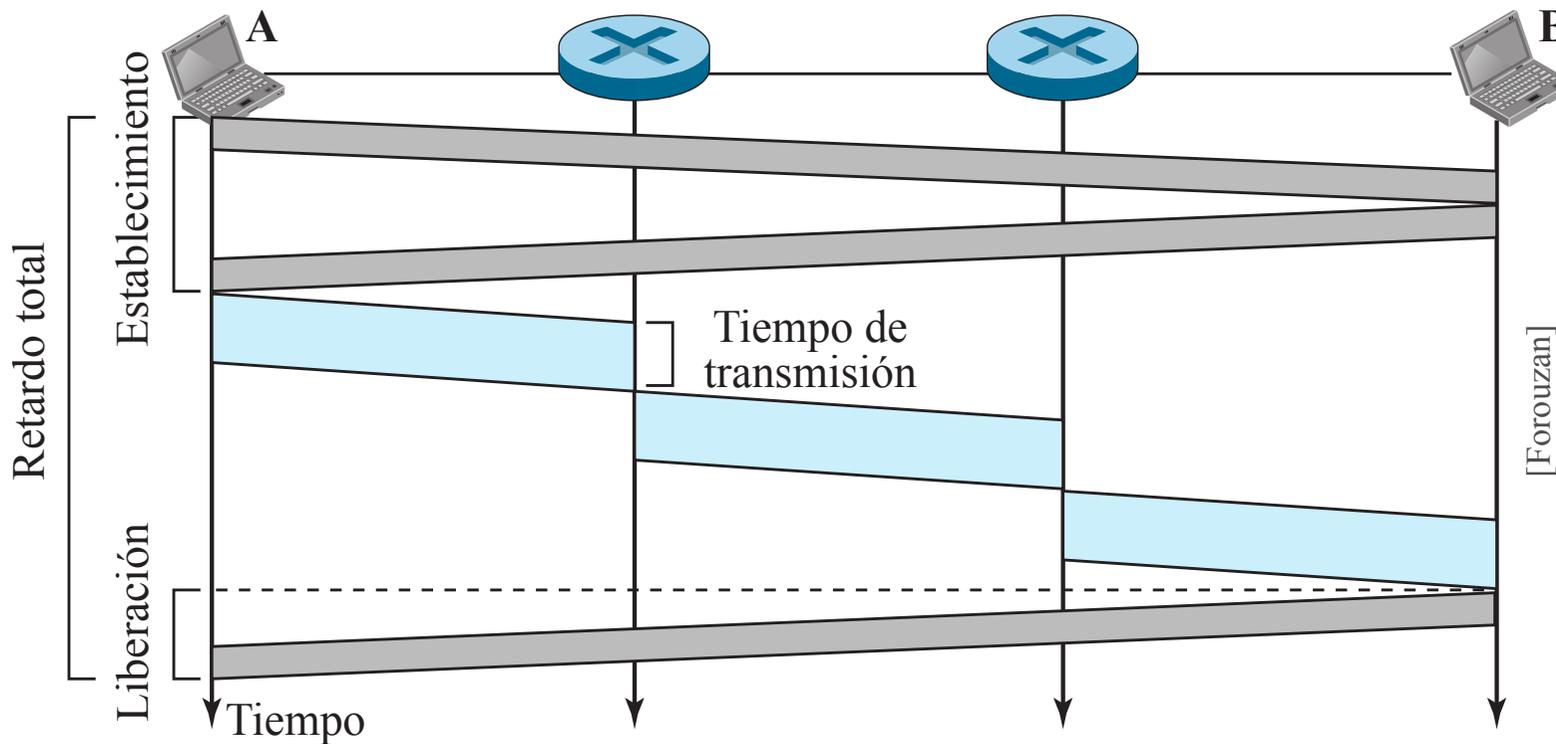
Redes de circuitos virtuales



La red de **circuitos virtuales** es combinación de conmutación de circuitos y datagramas.

- Como red de conmutación de circuitos, tiene las fases de **establecimiento**, **transmisión** de datos y **liberación**.
- Los recursos se adjudican durante la fase de establecimiento (como red de conmutación de circuitos) o bajo demanda (como red de conmutación de paquetes).
- La información se transmite mediante **paquetes**.
- Todos los paquetes siguen el mismo circuito (como red de conmutación de circuitos).
- Una red de circuitos virtual se implementa a **nivel enlace**, mientras que la red de conmutación de circuitos es implementada a **nivel físico** y una red de datagramas a **nivel red**.

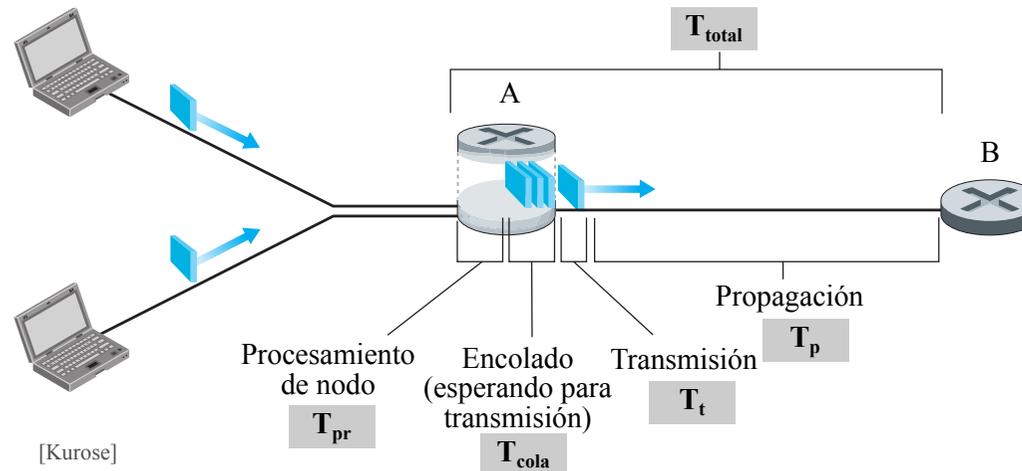
Redes de circuitos virtuales: retardo



1. Introducción
2. Terminología y clasificación
3. Redes de borde y núcleo
4. Modelo en capas
5. Modelos de referencia
6. Redes de conmutación
- 7. Rendimiento**



Retardo/delay en nodo

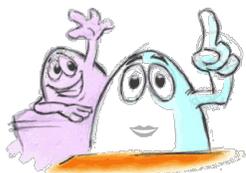


El paquete viaja de nodo en nodo (hosts o conmutadores), de forma que, a lo largo del camino, sufre una serie de retardos, en cada nodo:

- Retardo de procesamiento.
- Retardo de transmisión
- Retardo en cola.
- Retardo de propagación

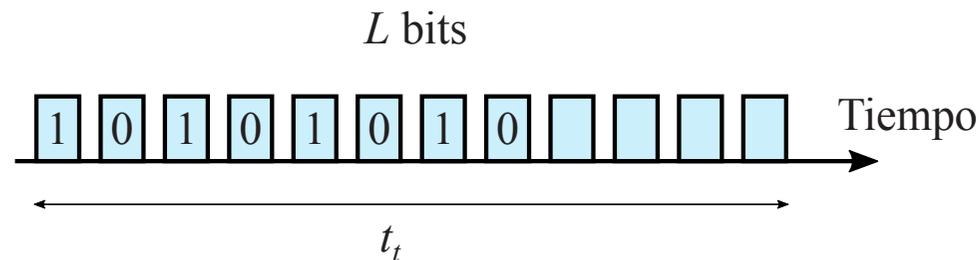
Los retardos son acumulativos, proporcionando el retardo total de nodo:

$$T_{total} = t_{pr} + t_{cola} + t_t + t_p$$



Nos referimos, indistintamente, como "tiempo", "retardo", "latencia" y "delay".

Tiempo de transmisión

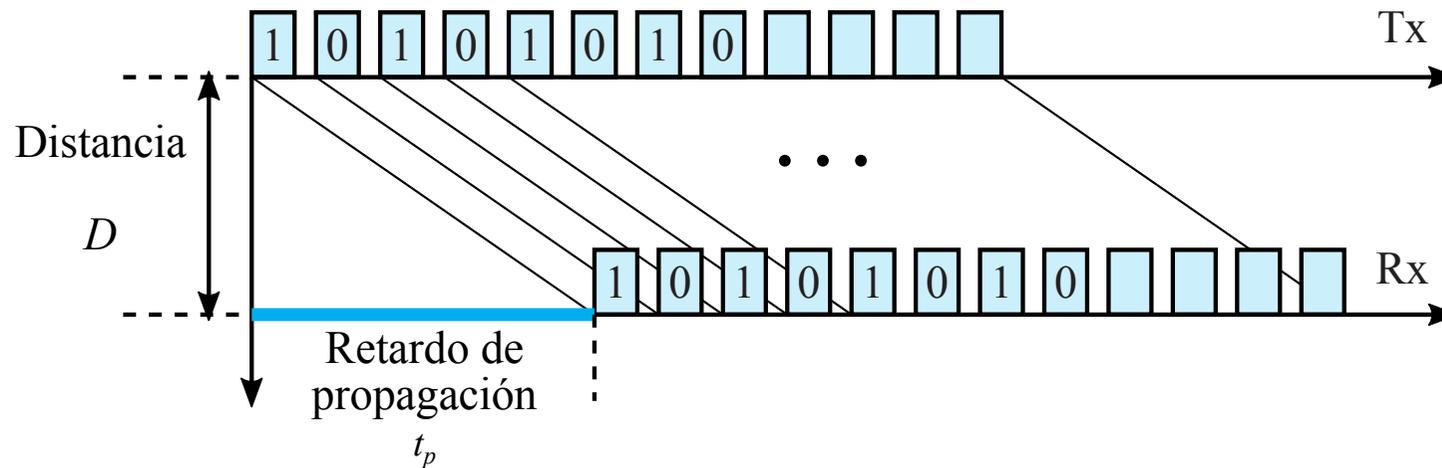


El **tiempo de transmisión** (t_t) es el tiempo necesario en transmitir L bits al medio dependiendo de la tasa de transmisión R .

$$t_t = \frac{L}{R}$$

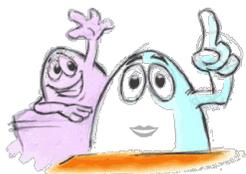
Intuitivamente, es el tiempo necesario en *empujar* los bits al canal.

Retardo de propagación



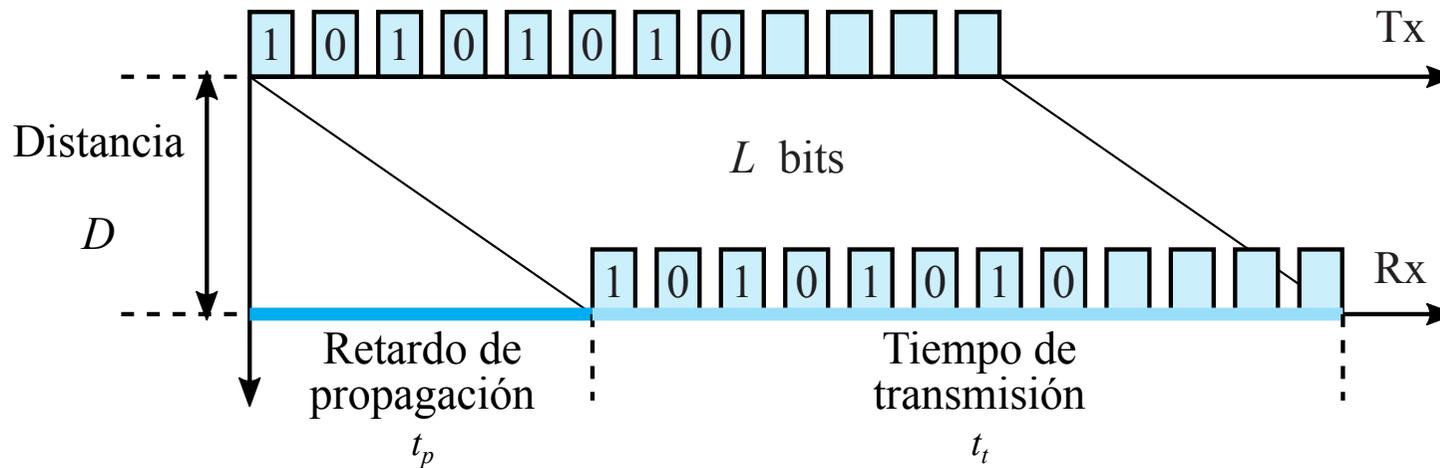
El **retardo de propagación** (t_p ó τ) es el tiempo necesario para que una señal sea transmitida por un transmisor (Tx) y alcance el receptor (Rx), dependiendo de la distancia D (en m) y de la velocidad de propagación V (en m/s), habitualmente cercana a la velocidad de la luz, c .

$$t_p = \frac{D}{V}$$



La velocidad de la señal en el medio oscila entre $V = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$ (no guiado) y $V = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ (guiado).

Tiempo total de transmisión



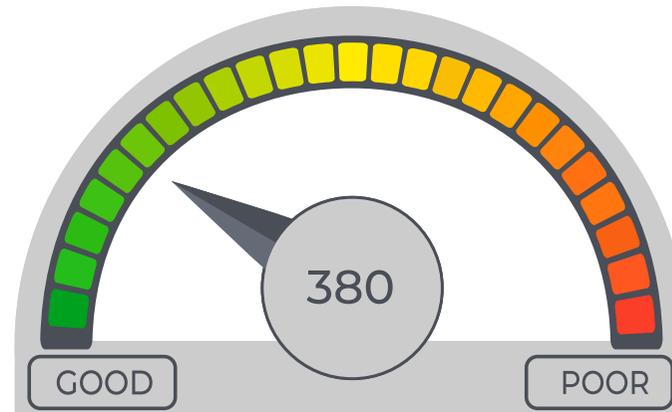
Velocidad de propagación: $V = \frac{D}{t_p}$

Tasa de transmisión: $R = \frac{L}{t_t}$

El retardo total entre la transmisión del primer bit y la recepción del último bit:

$$T = t_t + t_p$$

Ancho de banda



Ancho de banda (Hz): referido al rango de frecuencias contenido en una señal compuesta o el rango de frecuencias que un canal puede transportar.
Por ejemplo, la línea telefónica de subscritor tiene un ancho de banda de 4 kHz.

Ancho de banda (bps): número de bits por segundo que un canal, enlace o una red puede transmitir.
Por ejemplo, el ancho de banda de una red Fast Ethernet (o los links de la red) es un máximo de 100 Mbps (la red puede enviar 100 Mbps).

En general, un aumento del ancho de banda en Hz supone un aumento del ancho de banda en bps.

Intervalo de bit y longitud de bit

0110100010101001010101001 . . . 00101000101

Tasa de bit (bit/s ó bps): cantidad de bits transmitidos en 1s. También utilizaremos el término **Velocidad de transferencia** (V_t).

Intervalo de bit (s): tiempo que tarda en transmitirse un bit (también se denomina duración o tiempo de bit).

Longitud de bit (m): distancia que ocupa un bit en el medio de transmisión:

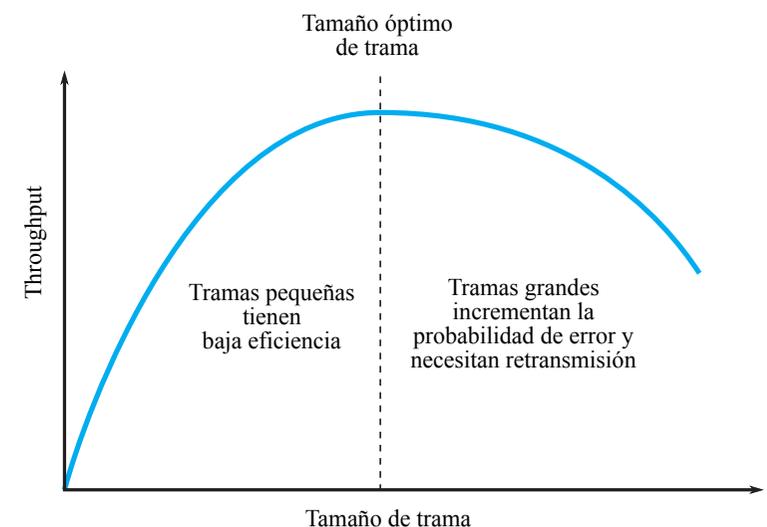
$$\text{Longitud de bit} = \text{Velocidad de propagación} \times \text{Intervalo de bit}$$

Productividad

La **productividad** (*throughput*) es una medida de cómo rápido se pueden enviar los datos a través de la red.

En un primer momento, se puede confundir productividad con ancho de banda, pero no son lo mismo: un enlace puede tener un ancho de banda de B bps, pero sólo puede enviar T bps a través de la línea, siendo $T < B$.

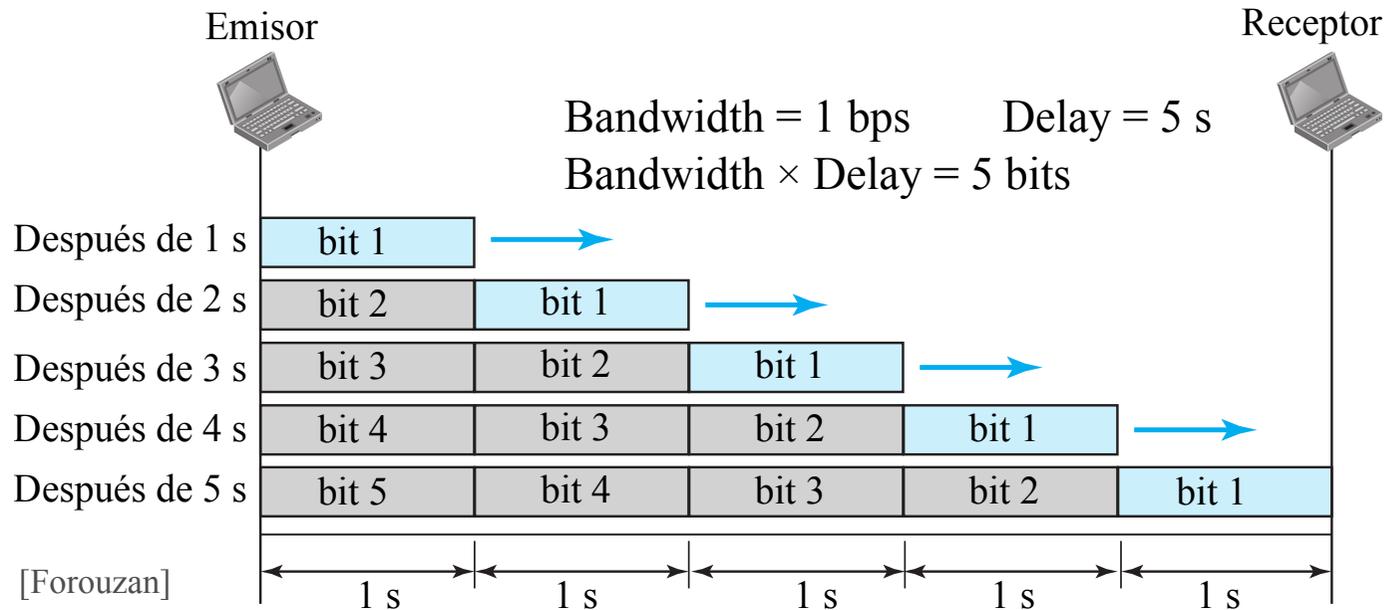
El **ancho de banda** es una medida potencial del enlace y la **productividad** es una medida actual de la rapidez a la que se están transmitiendo los datos.



$$\textit{Throughput} = \frac{\textit{Tamaño de transferencia (bits)}}{\textit{Tiempo de transferencia (seg)}} = [\textit{bps}]$$

Producto Bandwidth-Delay (I)

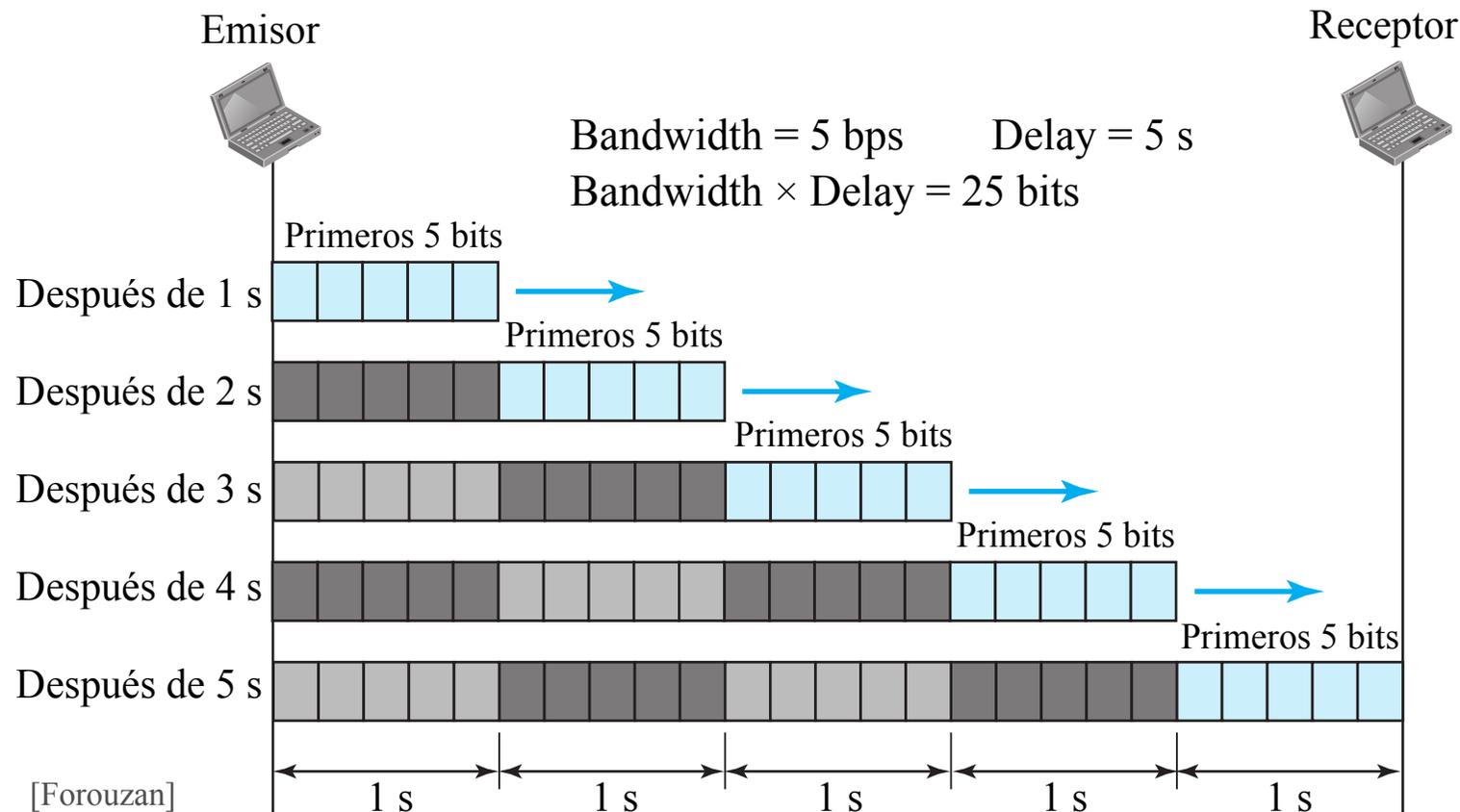
Caso 1: ancho de banda de 1 bps y retardo de 5 s.



- Observando la figura, podemos determinar que $1 \times 5 = 5$ es el número máximo de bits que pueden llenar el enlace.
- No pueden haber más de 5 bits al mismo tiempo en el enlace.

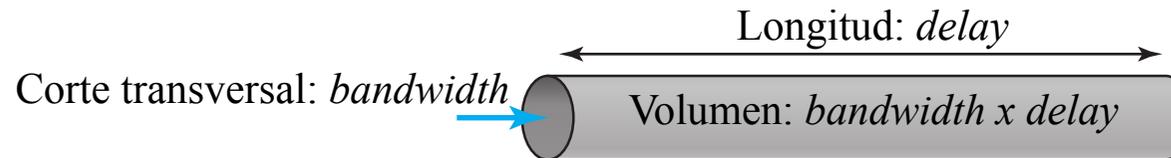
Producto Bandwidth-Delay (II)

Caso 2: ancho de banda de 5 bps y retardo de 5 s.



- Por lo tanto, “*caben*” como máximo $5 \times 5 = 25$ bits en la línea.
- La razón es porque cada segundo hay 5 bits en la línea y la duración de cada uno es de 0,20 s.

Producto Bandwidth-Delay (III)



Para expresar el producto *Bandwidth-Delay* podemos pensar en un enlace entre dos puntos como una **tubería**.

La sección transversal de la tubería representa el **ancho de banda** (*bandwidth*) y la longitud representa el **retardo** (*delay*).

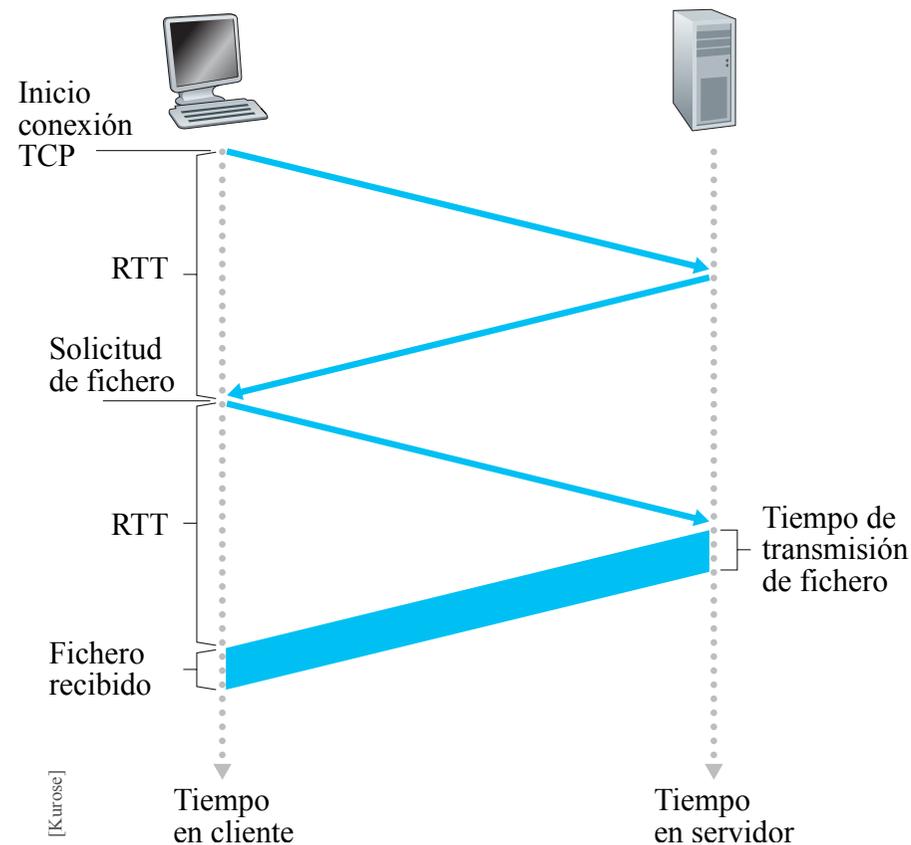
Entonces, el volumen de la tubería representaría el **producto bandwidth-delay**.

El producto *bandwidth-delay* define el número de bits que puede llenar un enlace.

Ahora, podemos expresar la longitud de bit como:

$$\text{Longitud de bit} = \frac{\text{Longitud del enlace}}{\text{Producto bandwidth-delay}}$$

RTT: *Round trip time*



El **RTT** (*Round trip time*) es el tiempo que tarda un paquete pequeño en viajar desde un sistema final y otro, y volver al primero.

RTT incluye los retardos de propagación así como retardos en colas y transmisión ocasionados por los dispositivos intermedios.

A menudo se utiliza la expresión $RTT \times \text{ancho de banda}$.

Latencia y ancho de banda

Aunque las redes disponen de mayor ancho de banda disponible, la percepción del usuario, es decir, **latencia**, no cambia al mismo ritmo que el aumento del ancho de banda.



Como ya afirmó Mr. Scott, ingeniero jefe de la USS Enterprise (*Star Trek*):

“Ye cannae change the laws of physics”

Supongamos T el tiempo total necesario (latencia) para el envío de un fichero de 1 MByte a través de dos enlaces transcontinentales, 1 Mbps y 1 Gbps, siendo, en ambos casos, $RTT = 100$ ms (dependiente de c):

$$B = 1 \text{ Mbit/s}$$

$$R_b = B \cdot RTT = 1 \text{ Mbit/s} \cdot 100 \text{ ms} = 10^5 \text{ bit}$$

$$T = \frac{8 \text{ Mbit}}{10^5 \text{ bit}} \cdot RTT = 80RTT = 80 \cdot 100 \text{ ms} = 8 \text{ s}$$

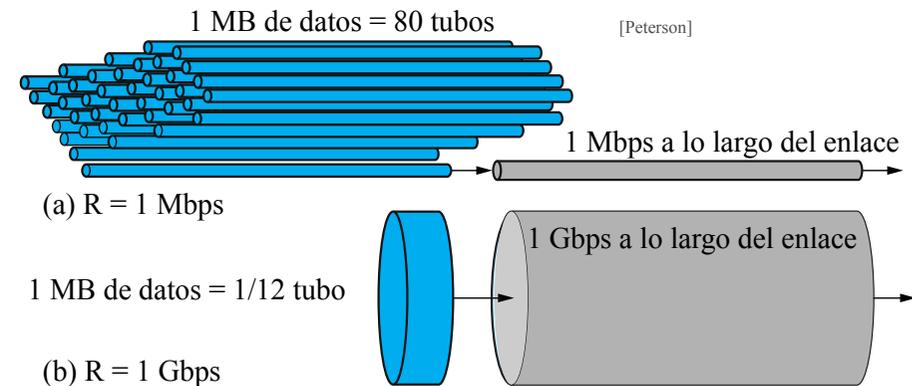
$$B = 1 \text{ Gbit/s}$$

$$R_b = B \cdot RTT = 1 \text{ Gbit/s} \cdot 100 \text{ ms} = 10^8 \text{ bits}$$

$$T = \frac{8 \cdot \text{Mbit}}{10^8 \text{ bit}} \cdot RTT = 1/12RTT \approx RTT = 0,1 \text{ s}$$

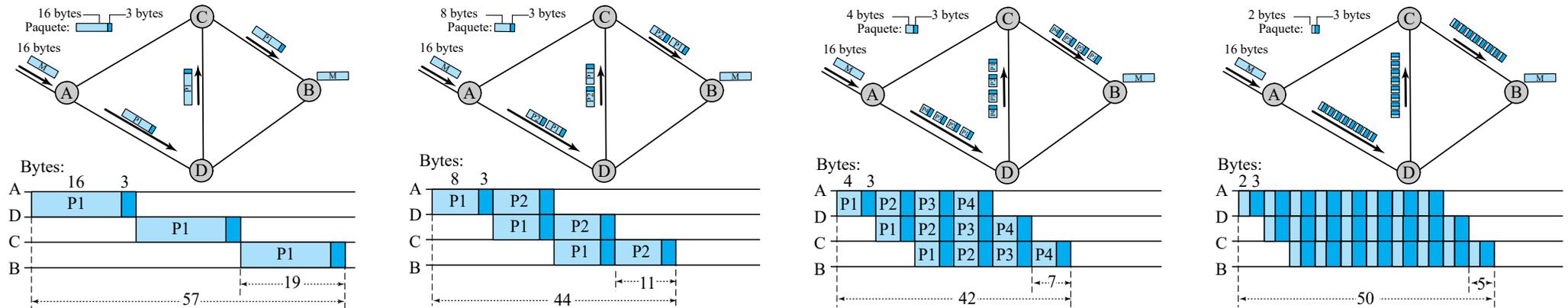
Durante cada RTT transmitirá el 1,25 % del fichero. El fichero ocupa $1/12RTT$, pero como tiene que hacer el viaje completo (RTT), entonces, $T = RTT = 0,1 \text{ s}$.

El ancho de banda se ha incrementado una ratio de $1 \text{ Mbps}/1 \text{ Gbps} = 1000$, pero, la latencia se ha reducido, sólomente, en una ratio $8 \text{ s}/0,1 \text{ s} \approx 80$. La limitación viene determinada por la **velocidad de la luz (c)**.



Tamaño de paquete y optimización (I)

Supongamos un mensaje M de 16 bytes y cabecera (fija) de 3 bytes, entonces, la segmentación, y por tanto, el tamaño del paquete, tiene un impacto sustancial en el rendimiento:



Datos (D)	Header (H)	Total (P)	Paquetes	Latencia (T)
16	3	19	3	57
8	3	11	6	44
4	3	7	12	42
2	3	5	24	50

¿Dónde se consiguen las mejoras?

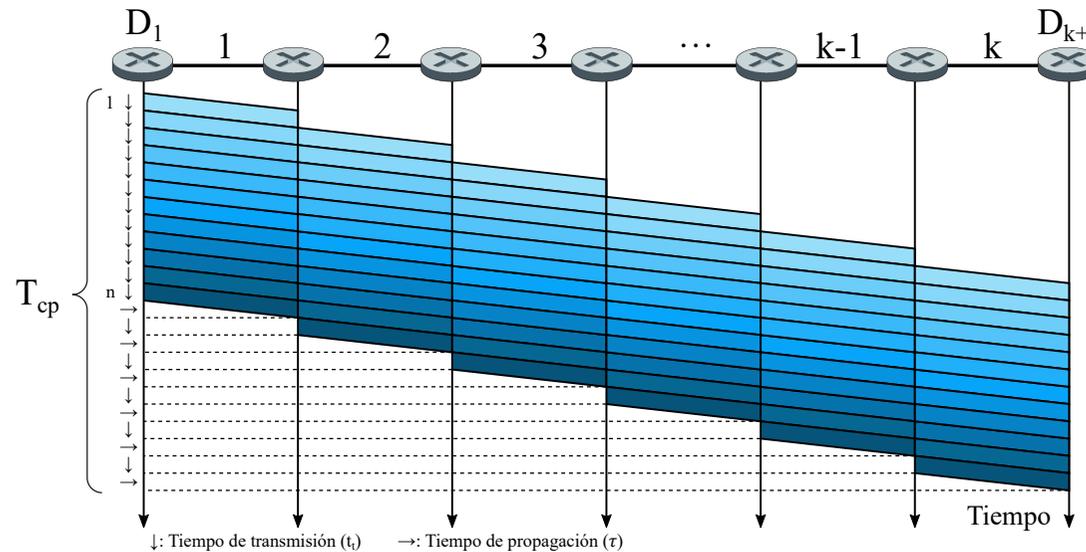
Transmisión en paralelo de paquetes de menor tamaño.

¿Cuál es el punto óptimo de tamaño de paquete?

La tendencia de reducción de retardo utilizando paquetes menor tamaño, evidentemente, se revertirá en cierto punto debido a la preponderancia del overhead de paquete (cabecera) cuando el tamaño es muy pequeño.

Tamaño de paquete y optimización (II)

Sea una red de conmutación de paquetes con $k+1$ nodos, mensaje de M bits, paquetes de P bits, cabecera de H bits y datos D bits. Para todos los nodos y enlaces, suponemos la tasa de transmisión similar e igual a la unidad (en bps), tiempo de propagación τ y el resto de retardos se consideran despreciables. Suponemos que todos los paquetes siguen el mismo camino, entonces:



Sea el tamaño del paquete:

$$P = D + H \quad (1)$$

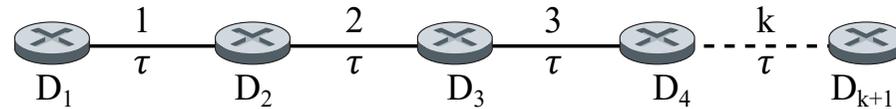
Y M se segmenta en n paquetes:

$$n = \frac{M}{D} \quad (2)$$

Considerando el tiempo de transmisión la unidad, entonces, el tiempo total en enviar el mensaje M :

$$T = n \frac{P}{R} + (k-1) \frac{P}{R} + k\tau = (n+k-1)P + k\tau \quad (3)$$

Tamaño de paquete y optimización (III)



Sea una red de conmutación de paquetes con $k+1$ nodos, mensaje de M bits, paquetes de P bits, cabecera de H bits y datos D bits. Para todos los nodos y enlaces, suponemos la tasa de transmisión similar e igual a la unidad (en *bps*), tiempo de propagación τ y el resto de retardos se consideran despreciables. Suponemos que todos los paquetes siguen el mismo camino, entonces:

Sea el tamaño del paquete:

$$P = D + H \quad (4)$$

Ejemplo (anterior): Para $M = 16$ bytes, $H = 3$ bytes, $k = 3$ y $\tau = 0$.

(4) El tamaño de datos *óptimo*:

Y M se segmenta en n paquetes:

$$n = \frac{M}{D} \quad (5)$$

$$D = \sqrt{\frac{MH}{k-1}} = \sqrt{\frac{16 \cdot 3}{3-1}} \approx 4 \text{ bytes}$$

por lo tanto, el n° de paquetes:

Entonces, el tiempo total en enviar el mensaje M , se obtiene a partir de (3):

$$n = \frac{M}{D} = \frac{16}{4} = 4 \text{ paquetes}$$

$$T = (n + k - 1)P + k\tau \quad (6)$$

de tamaño:

A partir de (4), (5) y (6) se obtiene T , derivado con respecto a D e igualando a 0, se obtiene el *óptimo*:

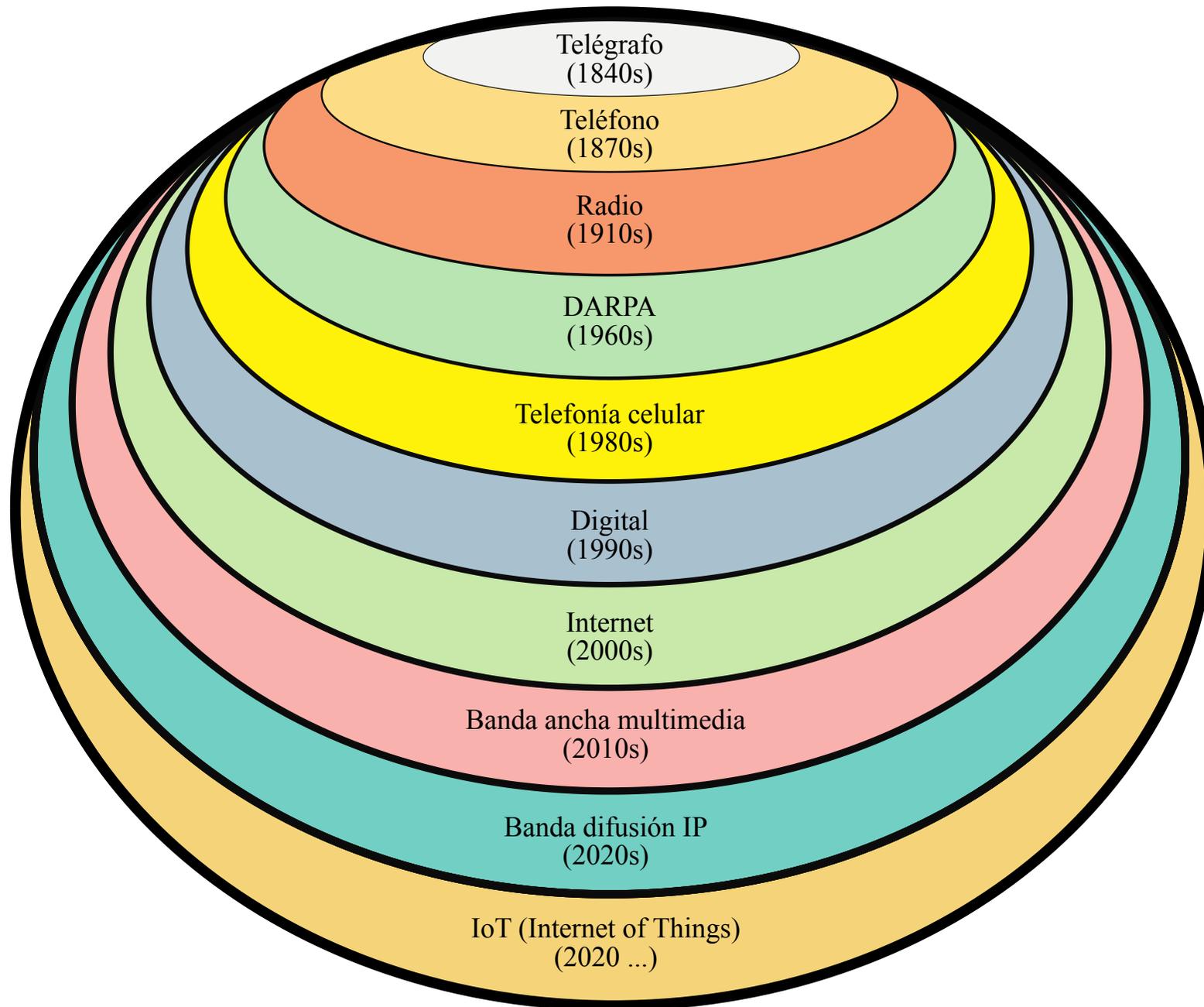
$$P = D + H = 4 + 3 = 7 \text{ bytes}$$

y el tiempo *óptimo* de envío del fichero:

$$\frac{\partial T}{\partial D} = 0 \rightarrow [\text{desarrollo omitido}] \rightarrow D = \sqrt{\frac{MH}{k-1}}$$

$$T = (n + k - 1)P + \cancel{k\tau} = (4 + 3 - 1) \cdot 7 = 42 \text{ s}$$

... para finalizar



Cuestiones de revisión

El estudiante debería ser capaz de responder a las siguientes cuestiones:



¿Qué es un Modelo de sistema de comunicación?

Diferencia entre dispositivo final y dispositivo de interconexión

¿Qué es comunicación simplex, half-duplex y full-duplex?

¿Qué es enlace punto a punto y multipunto?

Define unicast, multicast y broadcast

¿Cuál es la topología totalmente redundante?

¿Qué son redes PAN, LAN, MAN y WAN?

Funciones de las redes de acceso y núcleo

¿Qué es internet e Internet?

¿Qué es un protocolo?

¿Qué es la Unidad de datos de Protocolo (PDU)?

¿Qué es una arquitectura de comunicaciones?

¿Qué son las funciones, primitivas y servicios?

¿Qué son los SAP?

¿Qué es una conexión lógica?

¿Cuáles son los principios de diseño del modelo en capas?

¿En qué consiste el encapsulado?

Funciones de los Organismos de normalización

Funciones de la capa de enlace

Funciones de la capa de red

¿Qué es el overhead o sobrecarga?

Similitudes y diferencias entre conmutación de paquetes y circuitos

Diferencia entre ancho de banda y productividad

Concepto de producto Retardo \times ancho de banda

Concepto de RTT

¿Para qué se realiza la segmentación en paquetes?



UNIVERSITAS

Miguel Hernández