

Capítulo 5: Capa Enlace de Datos III

ELO322: Redes de Computadores
Agustín J. González

Este material está basado en:

- Material de apoyo al texto *Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet*. Jim Kurose, Keith Ross.

Capa Enlace de Datos

- ❑ 5.1 Introducción y servicios
- ❑ 5.2 Detección y corrección de errores
- ❑ 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- ❑ 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Hubs y switches
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS

Direcciones MAC

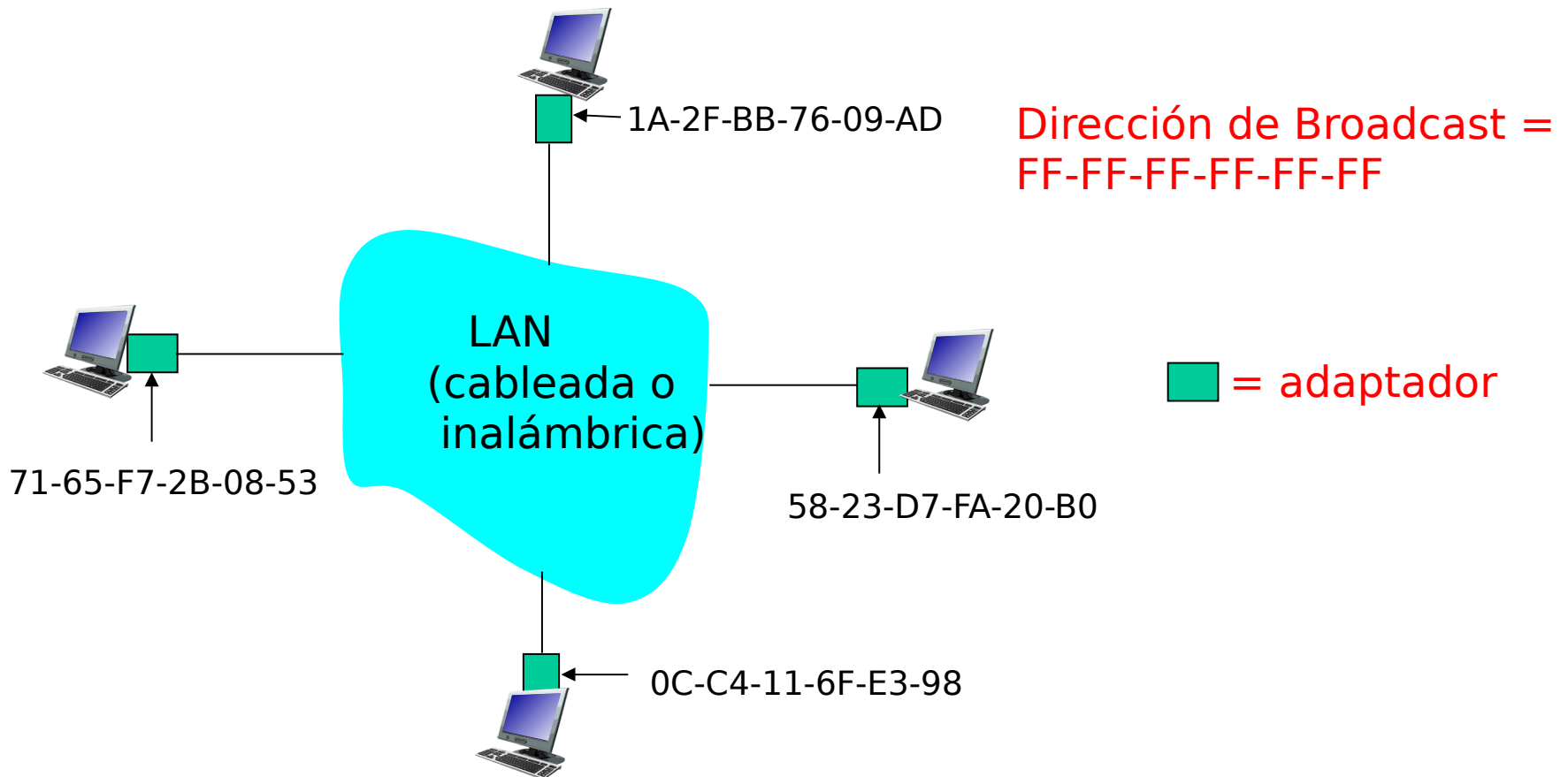
- ❑ La Dirección IP se usa para rutear un paquete hasta la IP destino pasando por varias LANs.
- ❑ Para rutear el paquete dentro de cada LAN se usa la dirección MAC.
- ❑ Direcciones IP son de 32 bits:
 - Son direcciones de la capa de red
 - Son usada para conducir un datagrama a la subred (subnet) destino
 - IP es jerárquico y no es portátil (depende de su subnet)
 - asignado por administrador de subred

Direcciones MAC

- Dirección MAC (usado en Ethernet):
 - Son usadas para conducir un datagrama de una interfaz a otra interfaz físicamente conectadas (en la misma subred)
 - Son de 48 bits (en mayoría de LANs) están grabadas en una ROM de la tarjeta adaptadora
 - Direcciones MAC son administradas por IEEE
 - Fabricantes de interfaces compran porciones del espacio de direcciones disponibles
 - MAC es portátil, no es jerárquico
 - Se puede mover una tarjeta de una LAN (subred) a otra

Direcciones LANs y ARP

Cada adaptador (tarjeta) en la LAN tiene una una MAC única (además de la IP asociada por software)



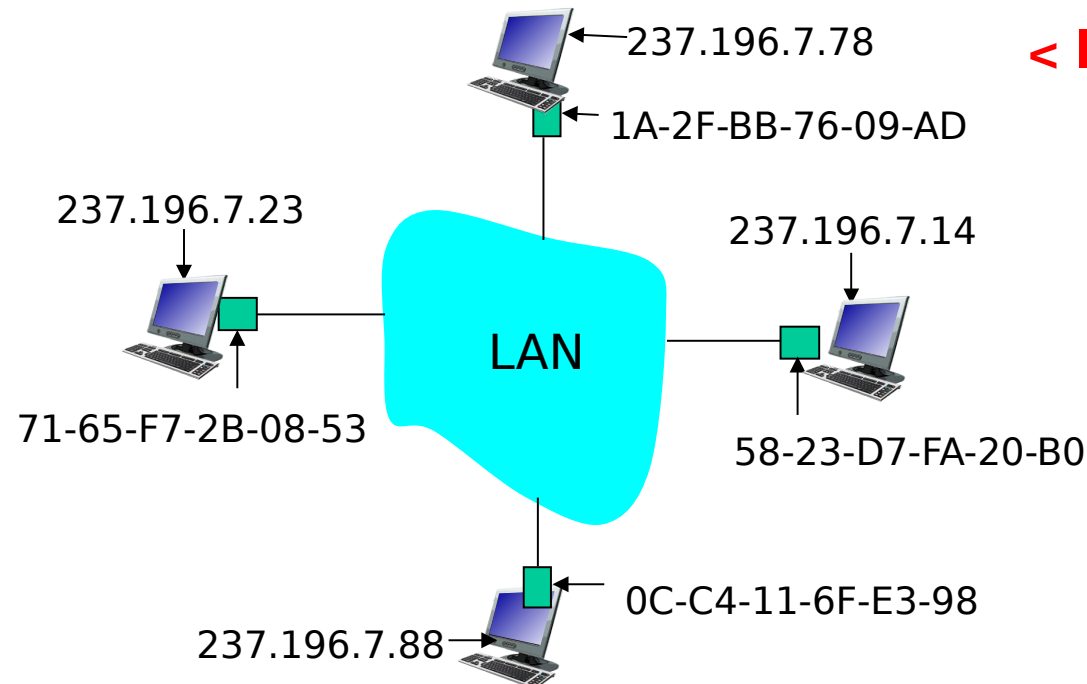
ARP: Address Resolution Protocol

Pregunta: ¿Cómo determinar la dirección MAC sabiendo la dirección IP?

- Cada nodo IP (Host o Router) de la LAN tiene una tabla **ARP**
- Tabla ARP: mapea direcciones IP -> MAC para algunos nodos de la LAN

< **IP address; MAC address; TTL** >

- TTL (Time To Live): tiempo de expiración para el mapeo (típicamente 20 min)
- Mismo nombre pero no confundir con TTL en encabezado IP.

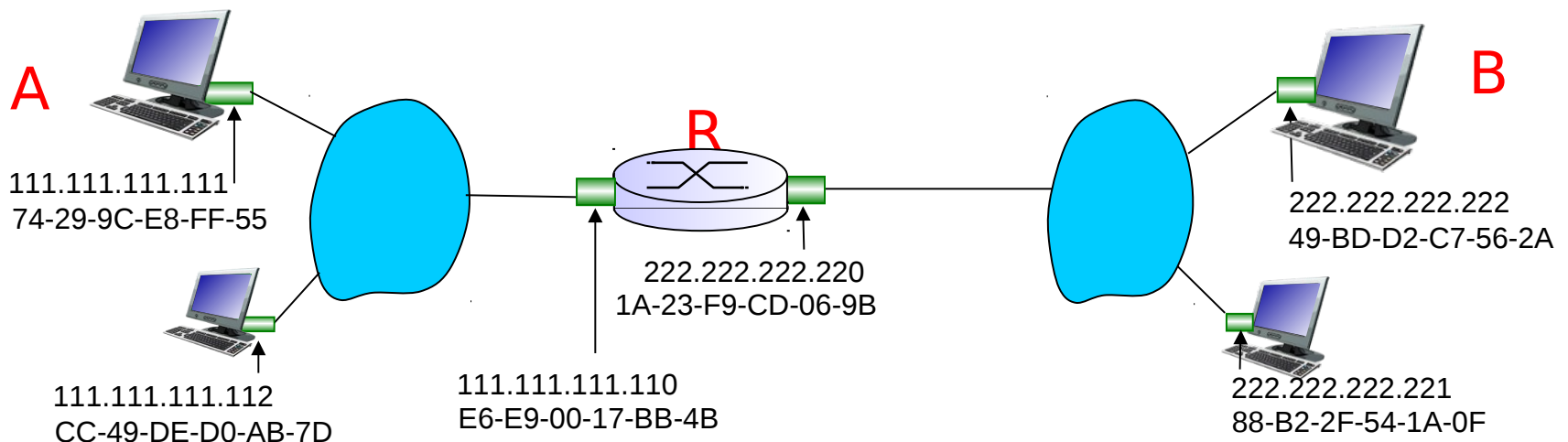


Protocolo ARP: Usado dentro de una LAN (network)

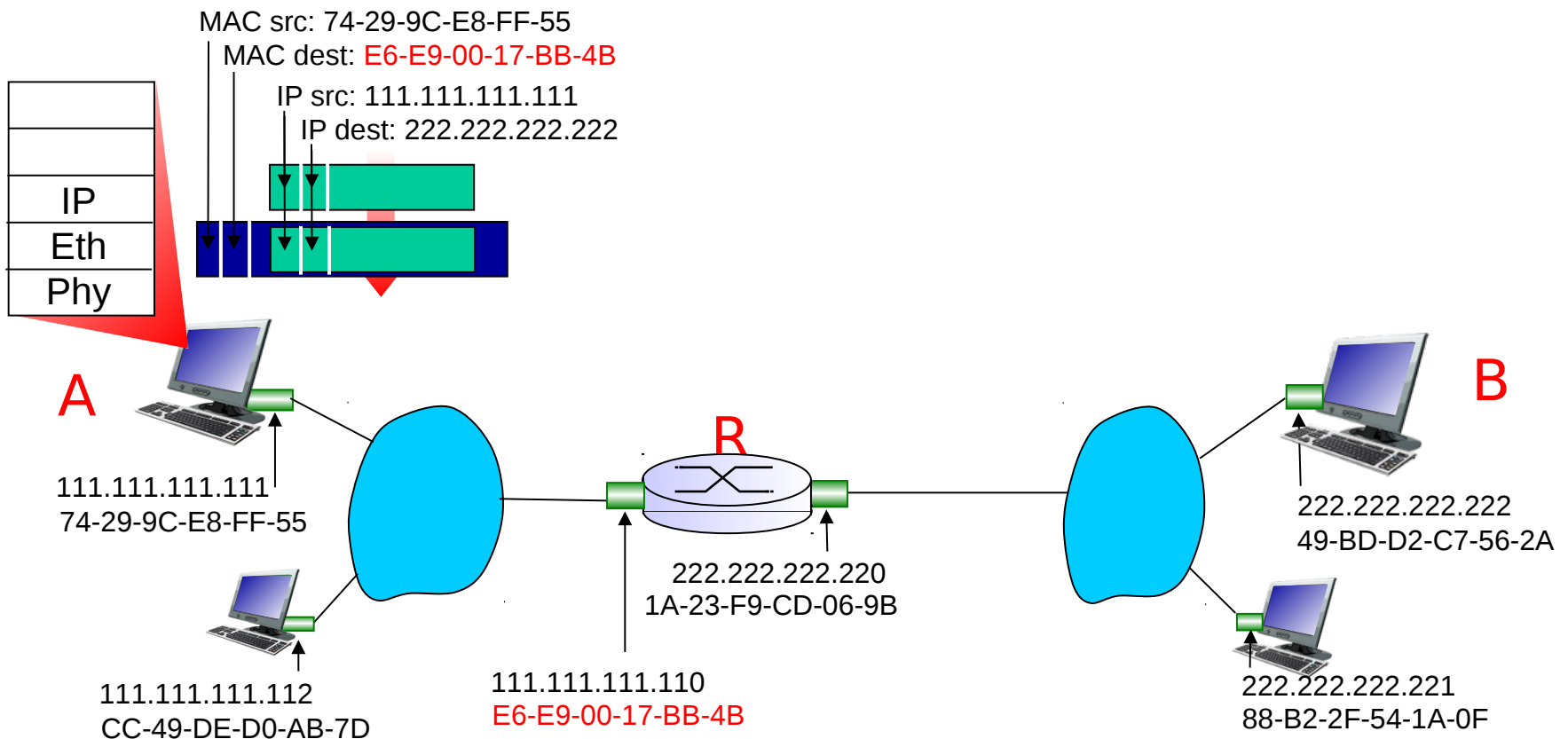
- **A** quiere enviar un datagrama a **B**, y la dirección MAC de **B** no está en tabla ARP de **A**.
- **A difunde (broadcasts)** un paquete consulta ARP, conteniendo la IP de **B**
 - Dirección destino MAC = FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Todas las máquinas de la LAN reciben la consulta ARP
- **B** recibe paquete ARP, y responde a **A** con su dirección MAC
 - La respuesta es enviada a la MAC de **A** (unicast)
- **A** guarda el par (IP,MAC) en su tabla ARP hasta que la información envejece (times out)
 - La información expira a menos que sea refrescada
- ARP es “plug-and-play”:
 - Los nodos crean sus tablas de ARP sin intervención de los administradores

Ejemplo: Ruteo a otra LAN

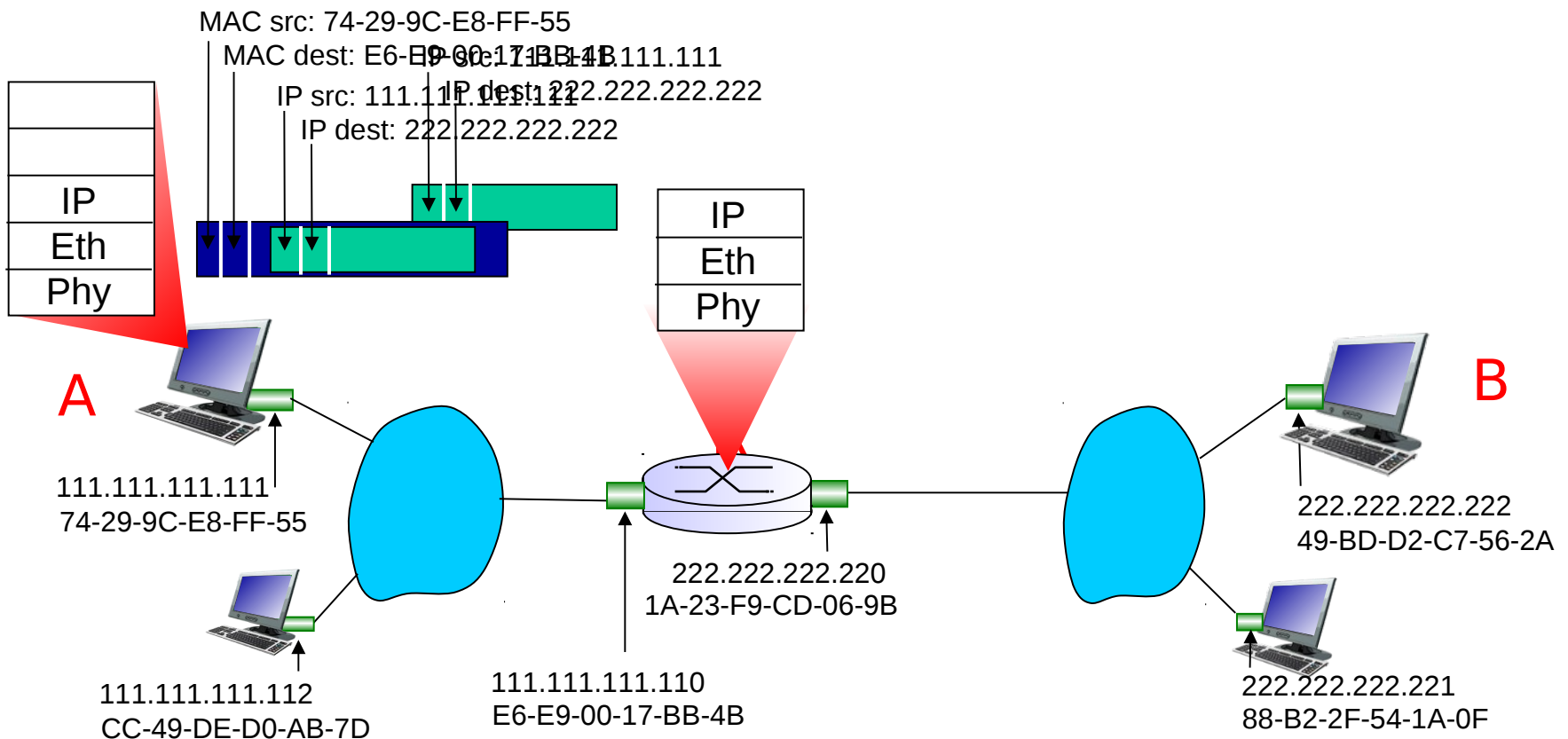
- ❑ Seguimiento: envío de datagrama desde A a B vía R
- ❑ Supone que A conoce dirección IP de B
- ❑ Supone que A conoce dirección IP del router R, es el del primer salto (cómo?)
- ❑ En router R hay dos tablas ARP, una por cada interfaz (o por cada red LAN del router R)



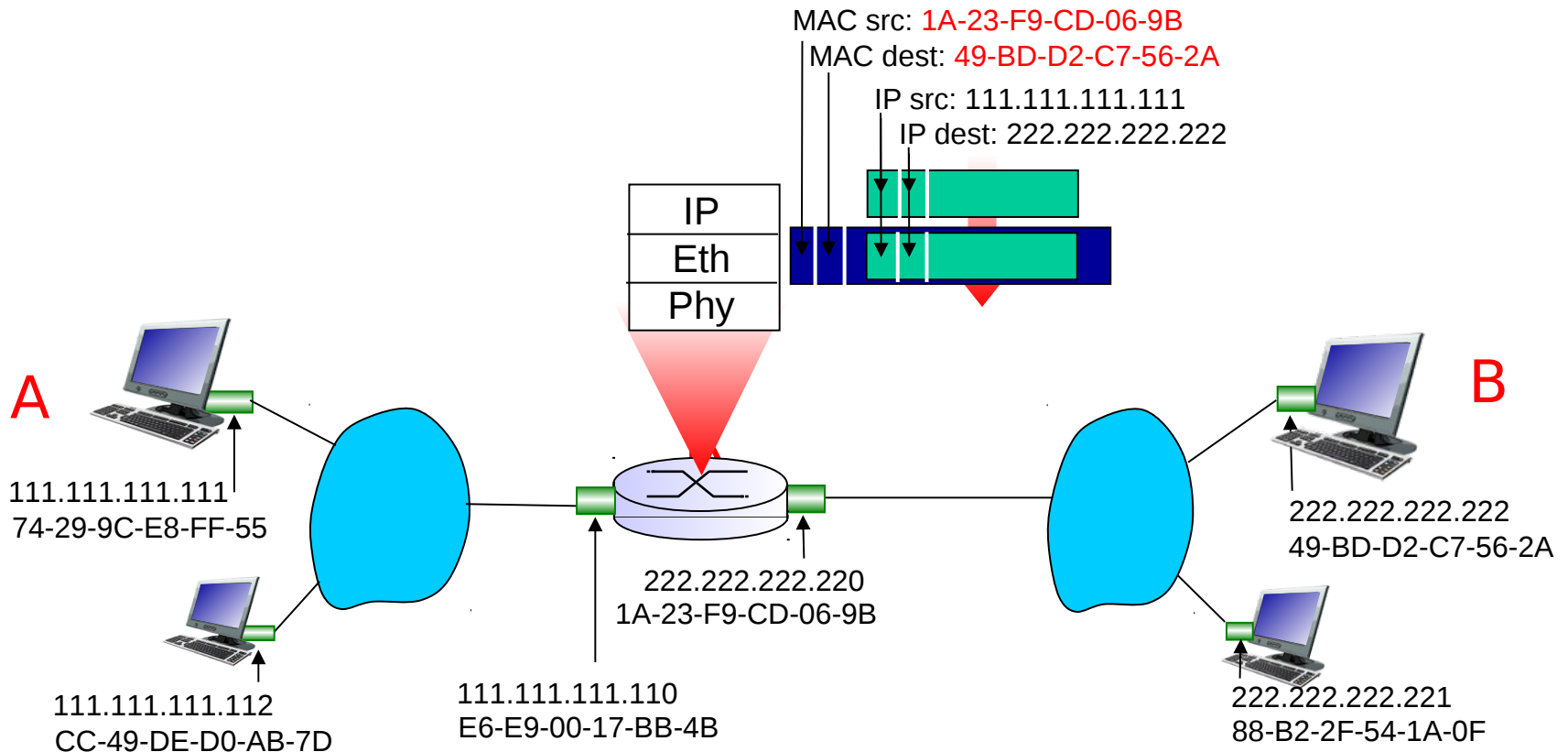
- Capa IP **A** crea datagrama con IP fuente **A** e IP destino **B**
- **A** usa ARP para obtener la MAC de **R** para la interfaz 111.111.111.110
- **A** crea una trama (frame) con dirección MAC de **R** como destino, los datos de la trama contienen el datagrama IP de **A** a **B**



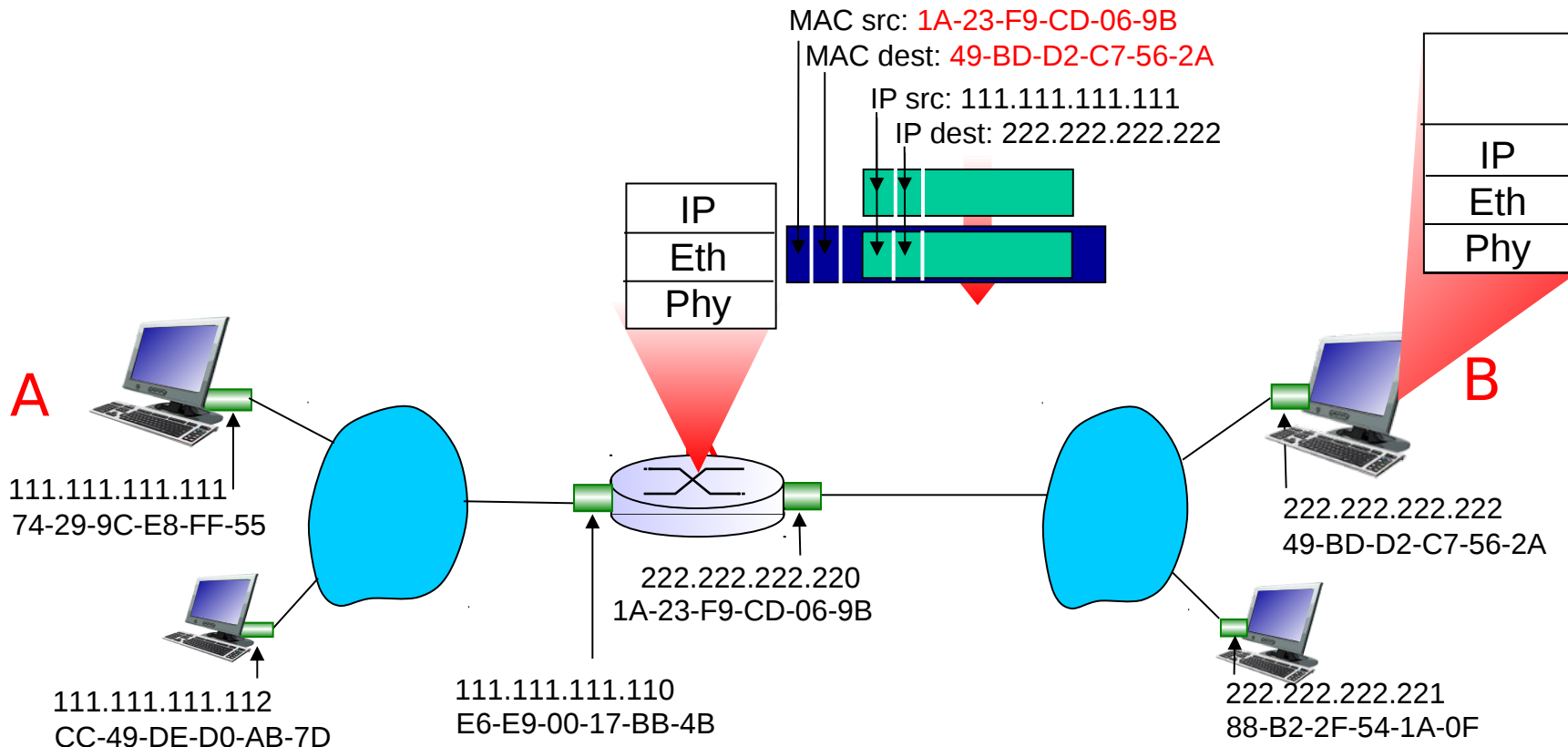
- ❖ **A** envía trama a **R**
- ❖ Trama es recibida en **R**, el datagrama es removido, y pasado a IP



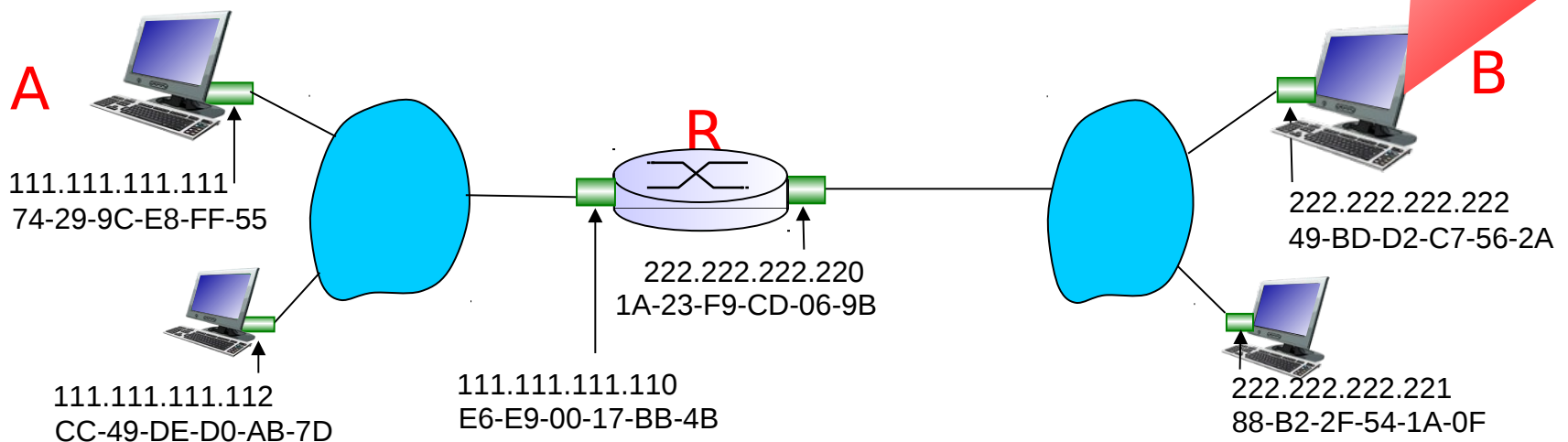
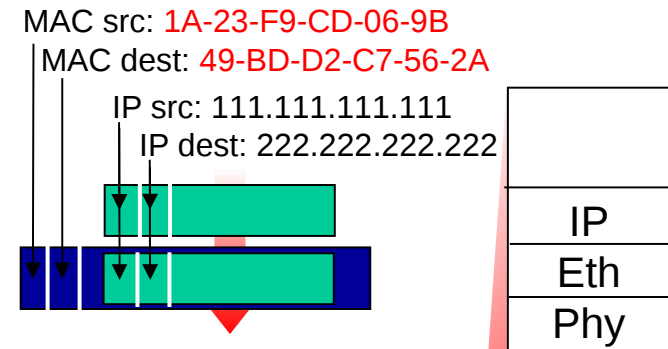
- ❖ **R** reenvía datagrama con IP fuente **A** y destino **B**
- ❖ **R** usa ARP para obtener dirección MAC de **B** (no se muestra)
- ❖ **R** crea trama de capa enlace con MAC de **B** como destino. La trama contiene datagrama IP de **A** a **B**.



- ❖ R reenvía datagrama con IP fuente A y destino B
- ❖ R usa ARP para obtener dirección MAC de B (no se muestra)
- ❖ R crea trama de capa enlace con MAC de B como destino. La trama contiene datagrama IP de A a B.



- ❖ **R** reenvía datagrama con IP fuente **A** y destino **B**
- ❖ **R** usa ARP para obtener dirección MAC de **B** (no se muestra)
- ❖ **R** crea trama de capa enlace con MAC de **B** como destino. La trama contiene datagrama IP de **A** a **B**.



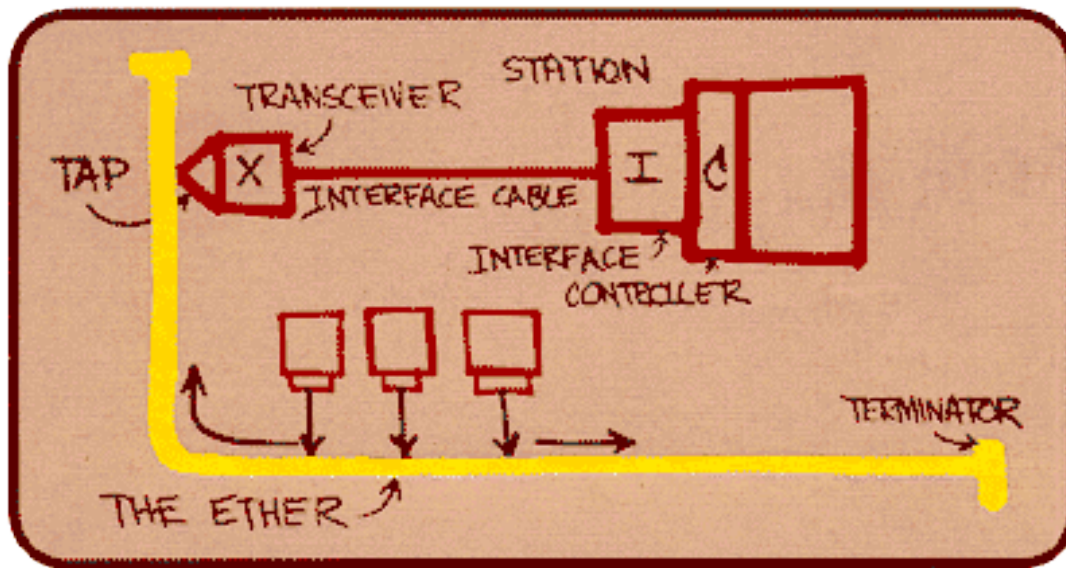
Capa Enlace de Datos

- ❑ 5.1 Introducción y servicios
- ❑ 5.2 Detección y corrección de errores
- ❑ 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- ❑ 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- ❑ **5.5 Ethernet**
- ❑ 5.6 Hubs y switches
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS

Ethernet

Tecnología LAN cableada “dominante” :

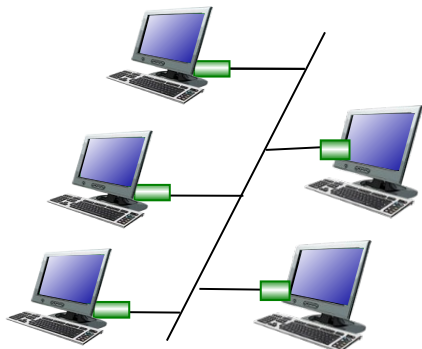
- ❑ Barata!
- ❑ Más simple y barata que LANs con token ring y ATM
- ❑ Ha progresado en velocidad: 10 Mbps – 10 Gbps
- ❑ Un único chip, tasas múltiples.



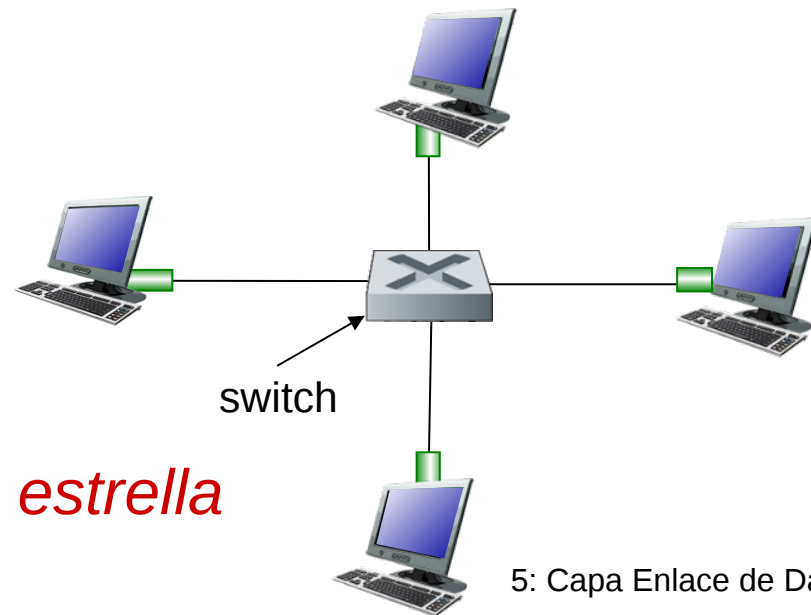
Primer borrador de Metcalfe

Ethernet: Topología física

- **bus:** popular en los 90s (hoy no se usa)
 - Todos los nodos en el mismo dominio de colisión (pueden colisionar con otros en mismo cable)
- **estrella:** perduda hoy
 - Usa un **switch** activo en centro
 - Cada cable al switch corre el protocolo Ethernet (separadamente).
 - Nodos no colisionan entre sí.



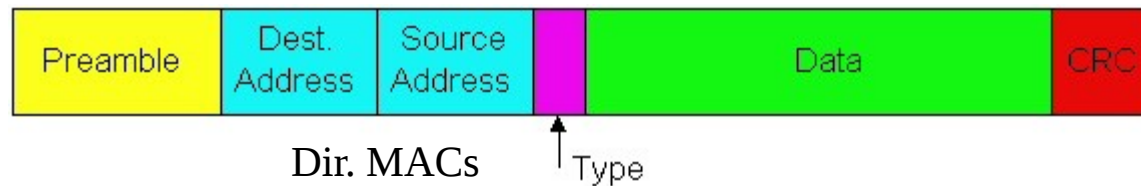
bus: cable coaxial



estrella

Estructura de trama Ethernet

El adaptador transmisor encapsula el datagrama IP (u otro protocolo de red) en la trama Ethernet

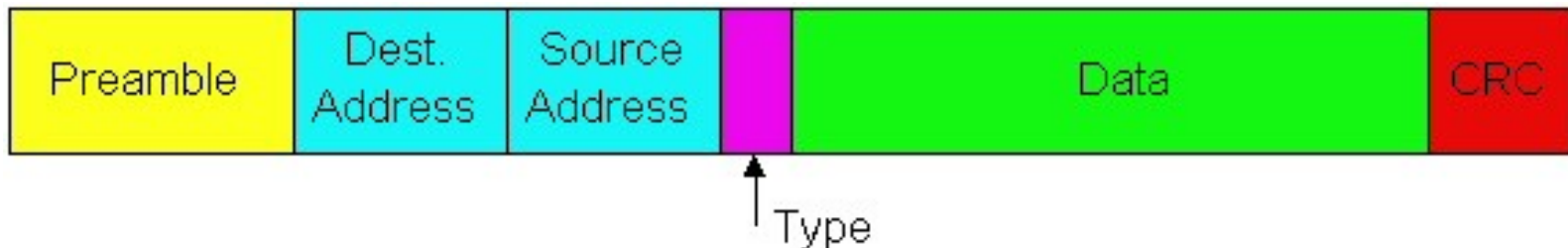


Preámbulo:

- ❑ 7 bytes con patrón 10101010 seguido por un byte con patrón 10101011
- ❑ Usado para sincronizar la fase de reloj del receptor y el inicio de datos.

Estructura de Trama Ethernet

- **Direcciones:** 6 bytes (= 48 bits)
 - Si el adaptador recibe trama con dirección destino propia o dirección de broadcast (eg paquete ARP), éste pasa los datos de la trama al protocolo de capa de red
 - de otro modo, el adaptador descarta la trama.
- **Tipo:** indica el protocolo de capa superior (principalmente IP pero hay otros como Novell IPX y AppleTalk)
- **CRC:** chequeado en receptor, si un error es detectado, la trama es simplemente descartada.



Ethernet: Servicio no confiable y sin conexión

- ❑ **Sin conexión:** No hay handshaking entre adaptadores Tx y Rx.
- ❑ **No confiable:** Receptor no envía acks o nacks al adaptador transmisor
 - Flujo de datagramas pasado a la capa de red puede tener vacíos por tramas descartadas.
- ❑ Protocolo de acceso al medio Ethernet no usa ranuras, usa **CSMA/CD**

Ethernet usa CSMA/CD

- ❑ **No hay slots** (ranuras)
- ❑ **Sensa por carrier portador:** adaptador no transmite si otro adaptador lo está haciendo.
- ❑ **Detecta Colisiones:** adaptador transmisor aborta cuando éste detecta que otro adaptador está transmitiendo.
- ❑ **Acceso Aleatorio:** Antes de intentar una retransmisión el adaptador espera un tiempo aleatorio

Algoritmo CSMA/CD de Ethernet

1. El adaptador **recibe un datagrama** de la capa de red y **crea la trama**
2. Si el adaptador **sensa** que el **canal está libre**, éste comienza a **transmitir** la trama. Si éste **sensa** canal ocupado, espera hasta que esté libre y transmite
3. Si el adaptador transmite la trama entera **sin detectar colisión**, se considera transmisión lograda !
4. Si el adaptador **detecta otra transmisión** mientras transmite, **aborta** y envía una **señal de bloqueo** (jam)
5. Después de abortar, el adaptador hace una pausa, esto es entra en **backoff exponencial**: después de la m -ésima colisión, el adaptador elige un K aleatorio entre $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$. El adaptador espera $K \cdot 512$ periodos de 1 bit y retorna al paso 2

CSMA/CD de Ethernet (más)

Señal de bloqueo: asegura que todos los transmisores detecten la colisión; 48 bits

Periodo de 1 bit: 0.1 microsec en 10 Mbps Ethernet ; para $K=1023$, se esperará alrededor de 50 msec

Backoff Exponencial:

- ❑ *Objetivo:* retransmisiones intentan estimar la carga actual
 - Alta carga: espera aleatoria será mayor
- ❑ Primera colisión: elige K entre $\{0,1\}$; retardo es $K \cdot 512$ periodos de bits
- ❑ Después de segunda colisión: elige K de $\{0,1,2,3\}$...
- ❑ Después de 10 colisiones, elige K de $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$. Así K nunca supera 1023.

La eficiencia es mucho mayor que ALOHA (ranurado o no)
Revisar applet de Java en sitio del curso

Eficiencia de CSMA/CD

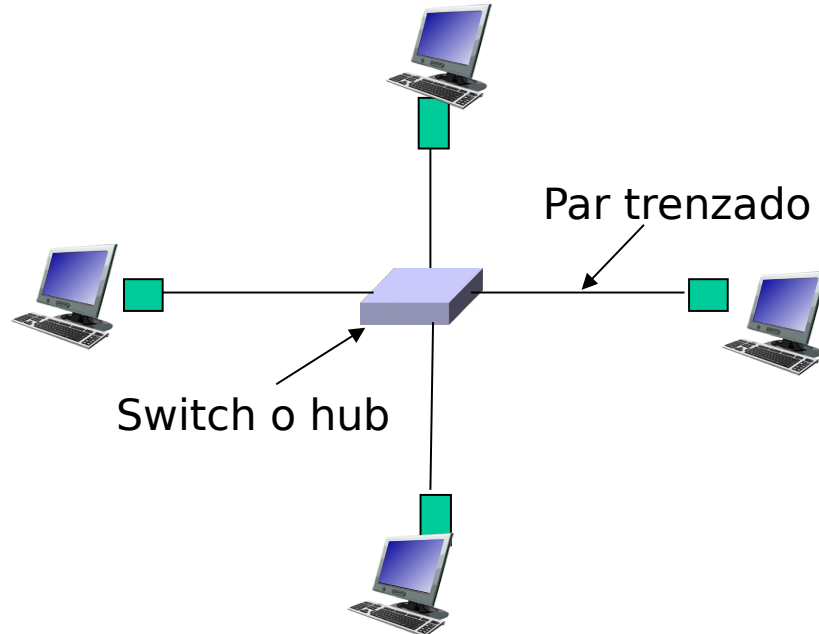
- ❑ Su deducción escapa al alcance de este curso
- ❑ Sea:
 - T_{prop} = max retardo de propagación entre 2 nodos en LAN
 - t_{trans} = time to transmit max-size frame

$$efficiency = \frac{1}{1 + 5 t_{prop} / t_{trans}}$$

- ❑ Eficiencia sube a 1:
 - Cuando t_{prop} se acerca a 0
 - Cuando t_{trans} crece mucho (infinito)
- ❑ Tiene mejor desempeño que ALOHA, además es simple, barato, descentralizado!

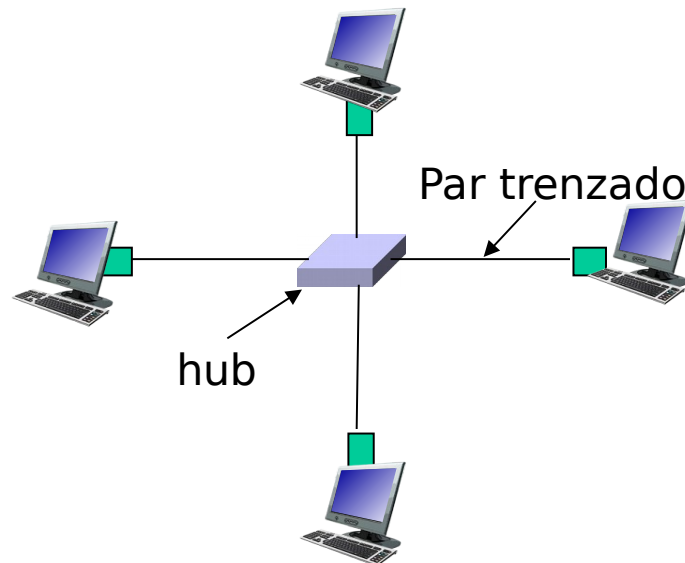
10BaseT y 100BaseT

- ❑ Tasas de 10/100 Mbps; 100 Mbps es llamado “fast ethernet”
- ❑ T significa Twisted Pair (par trenzado)
- ❑ Nodos se conectan a un switch (o hub): “topología estrella”; 100 [m] es la distancia máxima entre nodo y hub.

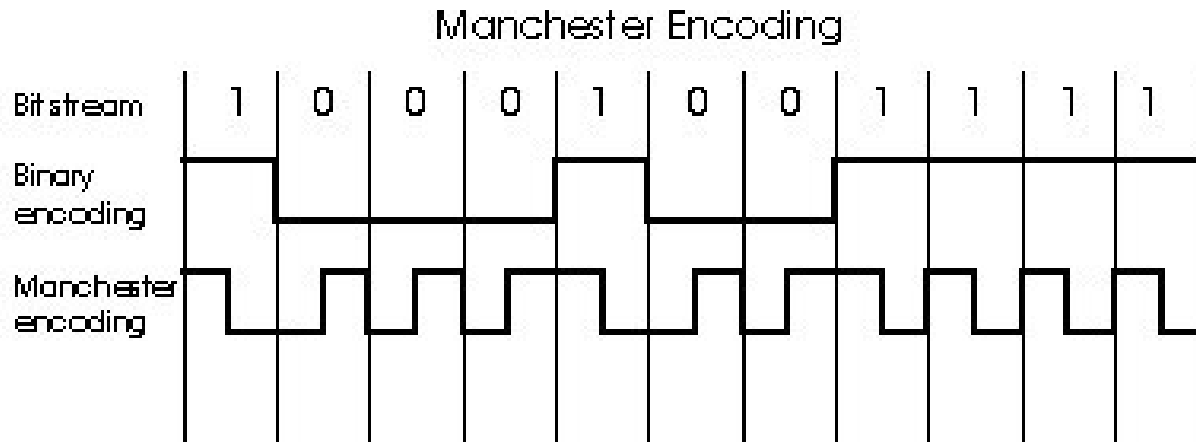


Hubs

- Hubs son esencialmente repetidores de capa física:
 - Los bits que ingresan por un enlace salen por TODOS los otros
 - No hay almacenamiento y reenvío
 - No hay CSMA/CD en hub: el adaptador detecta la colisión



Codificación Manchester



- ❑ Usado en 10BaseT
- ❑ Cada bit tiene una transición
- ❑ Permite que el reloj receptor se sincronice con trama
 - no requiere reloj centralizado o global entre nodos!
- ❑ Esta es materia de la capa física!

Gbit Ethernet

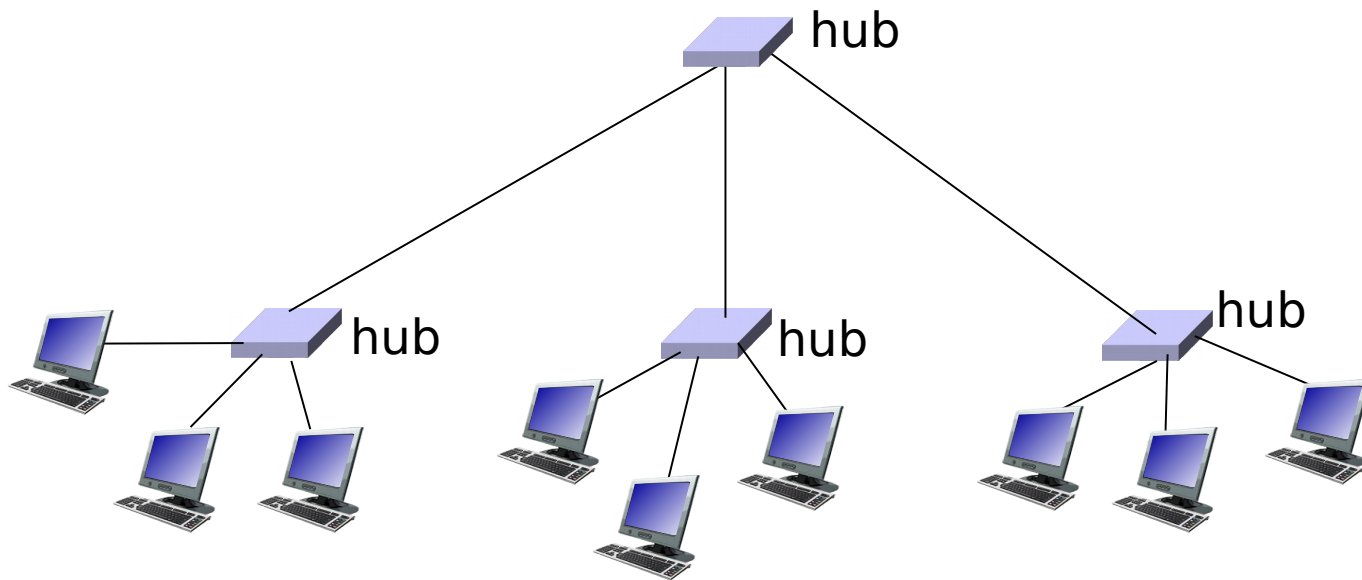
- ❑ Usa formato de trama Ethernet estándar
- ❑ Permite enlaces punto a punto y vía canales broadcast compartidos
- ❑ En modo compartido usa CSMA/CD; se requiere corta distancia entre nodos por eficiencia
- ❑ Full-Duplex a 1 Gbps para enlaces punto a punto o usando switches.
- ❑ Ahora se cuenta con 10 Gbps !

Capa Enlace de Datos

- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- 5.5 Ethernet
 - Hubs y Switches
- 5.6 VLANs

Interconexión con hubs

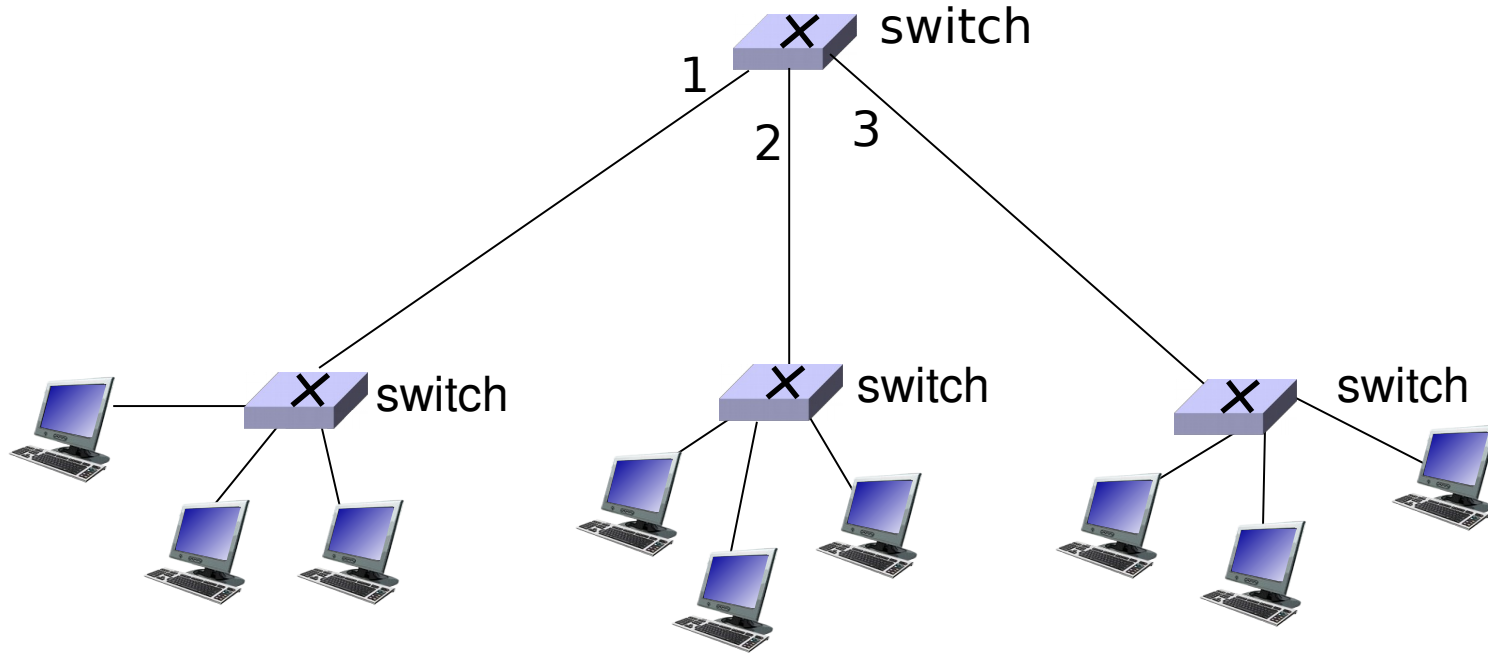
- ❑ Hub de Backbone interconecta segmentos LAN
- ❑ Extiende distancia máxima entre nodos
- ❑ Pero segmentos de colisión individuales se transforman en un gran dominio de colisión
- ❑ No se puede conectar 10BaseT y 100BaseT



Switches

- ❑ **Dispositivo de capa enlace de datos**
 - Almacena y re-envía tramas Ethernet
 - Examina encabezados de tramas y **selectivamente** re-envía tramas basado en dirección MAC destino
 - Cuando debe re-enviar una trama, usa CSMA/CD para acceder al medio
- ❑ **Transparente**
 - Hosts no notan la presencia de switches
- ❑ **Plug-and-play**, y aprenden solos
 - Switches no requieren ser configurados

Reenvío



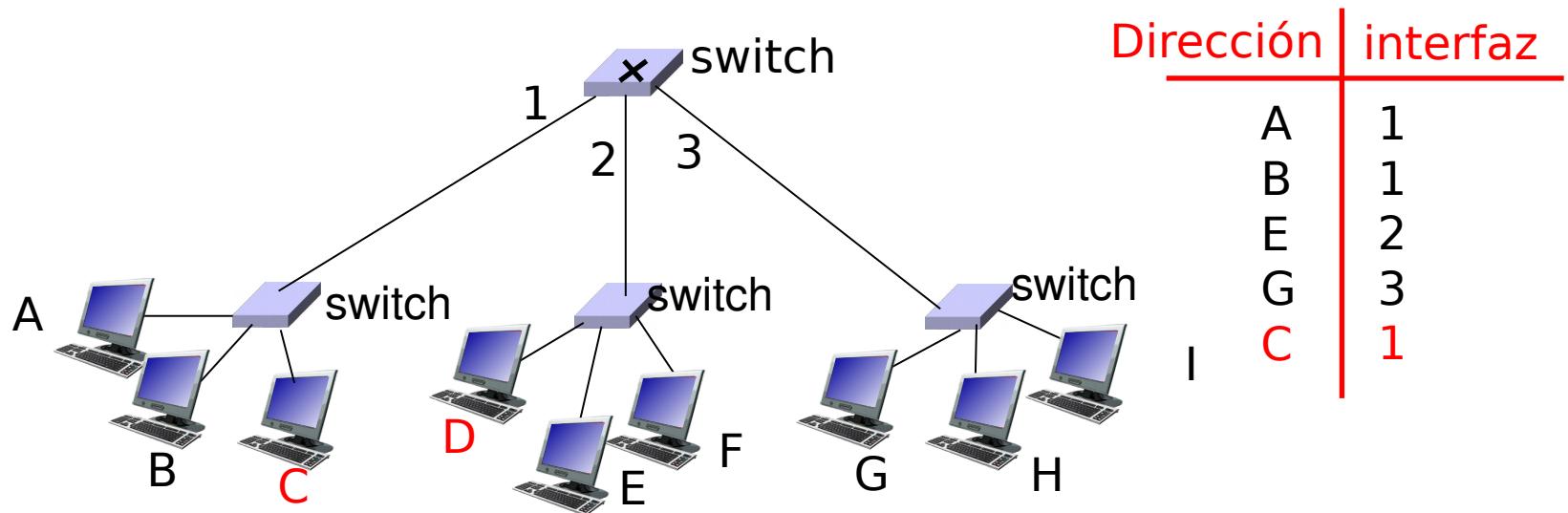
- ❑ ¿Cómo determinar en qué segmento LAN enviar la trama?
- ❑ Similar a problema de ruteo ...

Auto aprendizaje (importante!!)

- ❑ Cada switch tiene una **tabla de conmutación (switching table)**
- ❑ Entradas de la tabla del switch:
 - (Dirección MAC, Interfaz, Marca de tiempo)
 - Entradas antiguas son descartadas (TTL ~60 min)
- ❑ Switches **aprenden** qué hosts se encuentra en qué interfaz
 - Cuando una trama es recibida, el switch asocia la interfaz (o boca del switch) donde un Tx está con la MAC de la trama LAN de llegada
 - Graba el par (Mac Tx) / interfaz en **tabla del switch**

Ejemplo de Switches: Veremos cómo el switch central arma su tabla

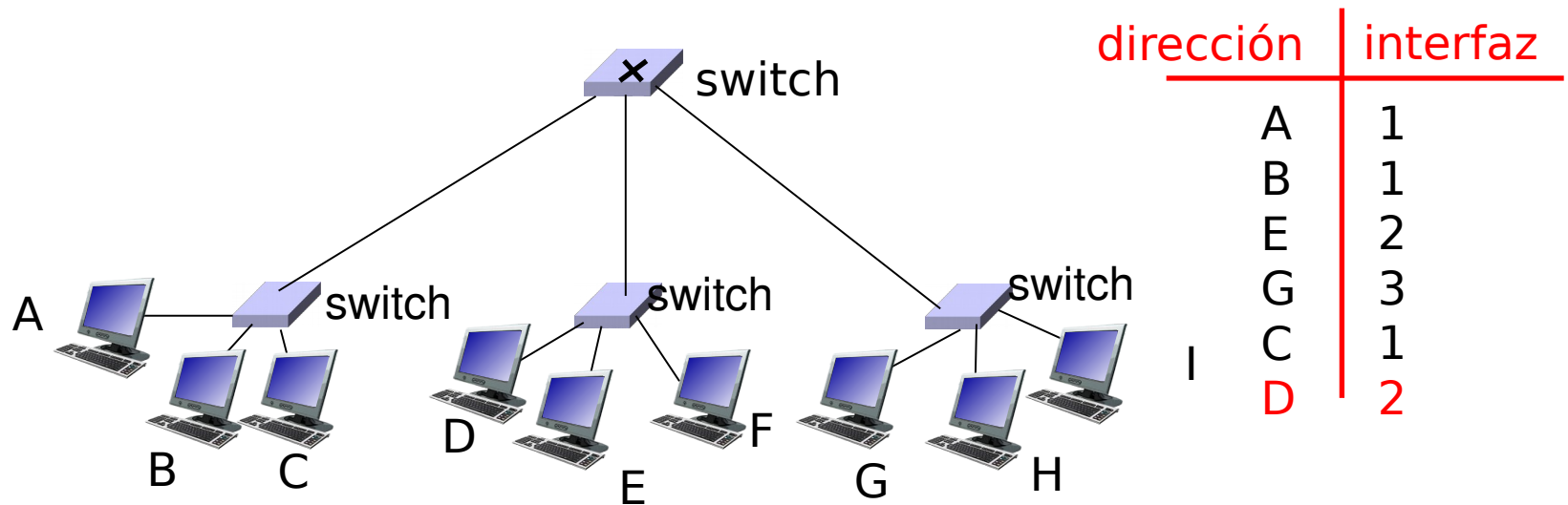
Supongamos que C envía una trama a D



- El switch recibe trama de C
 - Anota en tabla del switch que MAC C está en interfaz 1
 - Debido a que D no está en la tabla, el switch re-envía la trama a interfaces 2 y 3
- La trama es recibida por D

Ejemplo de Switches

Supongamos que D responde a C con otra trama.



- El switch recibe la trama de D
 - Y anota en su tabla que D está en interfaz 2
 - Debido a que C ya está en la tabla, el switch re-envía la trama sólo por interfaz 1
- La trama es recibida por C

Filtrado y re-envío

Cuando un switch recibe una trama:

Busca en su tabla usando la dirección MAC destino

□ **if** encuentra entrada para el destino

then {

if destino está en segmento desde donde llegó trama

then descarte trama

else re-envíe la trama a la interfaz indicada

}

else

inunde

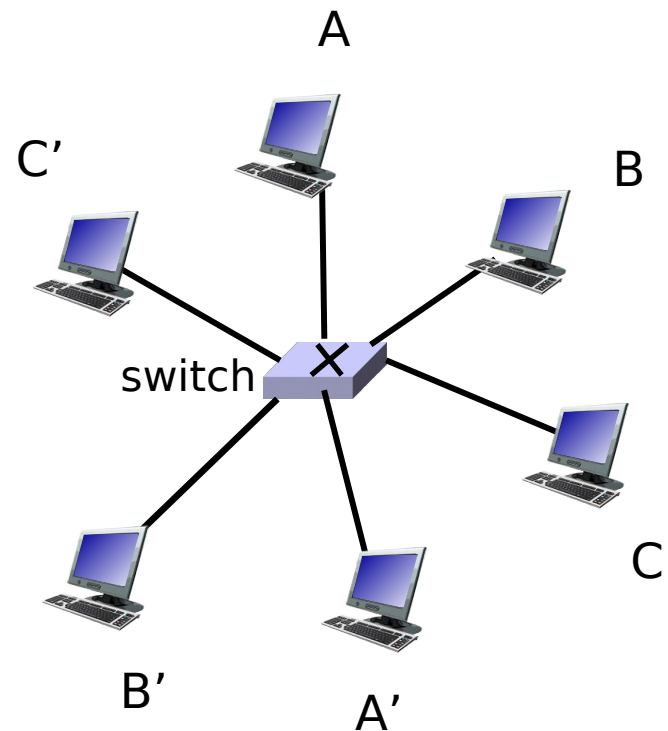
*Re-envíe en todas la interfaces
excepto la de llegada*

Registre o refresque dirección origen

Switches: accesos dedicados

- ❑ Switch con muchas interfaces
- ❑ Cada host tiene conexión directa al switch
- ❑ No hay colisiones; full duplex

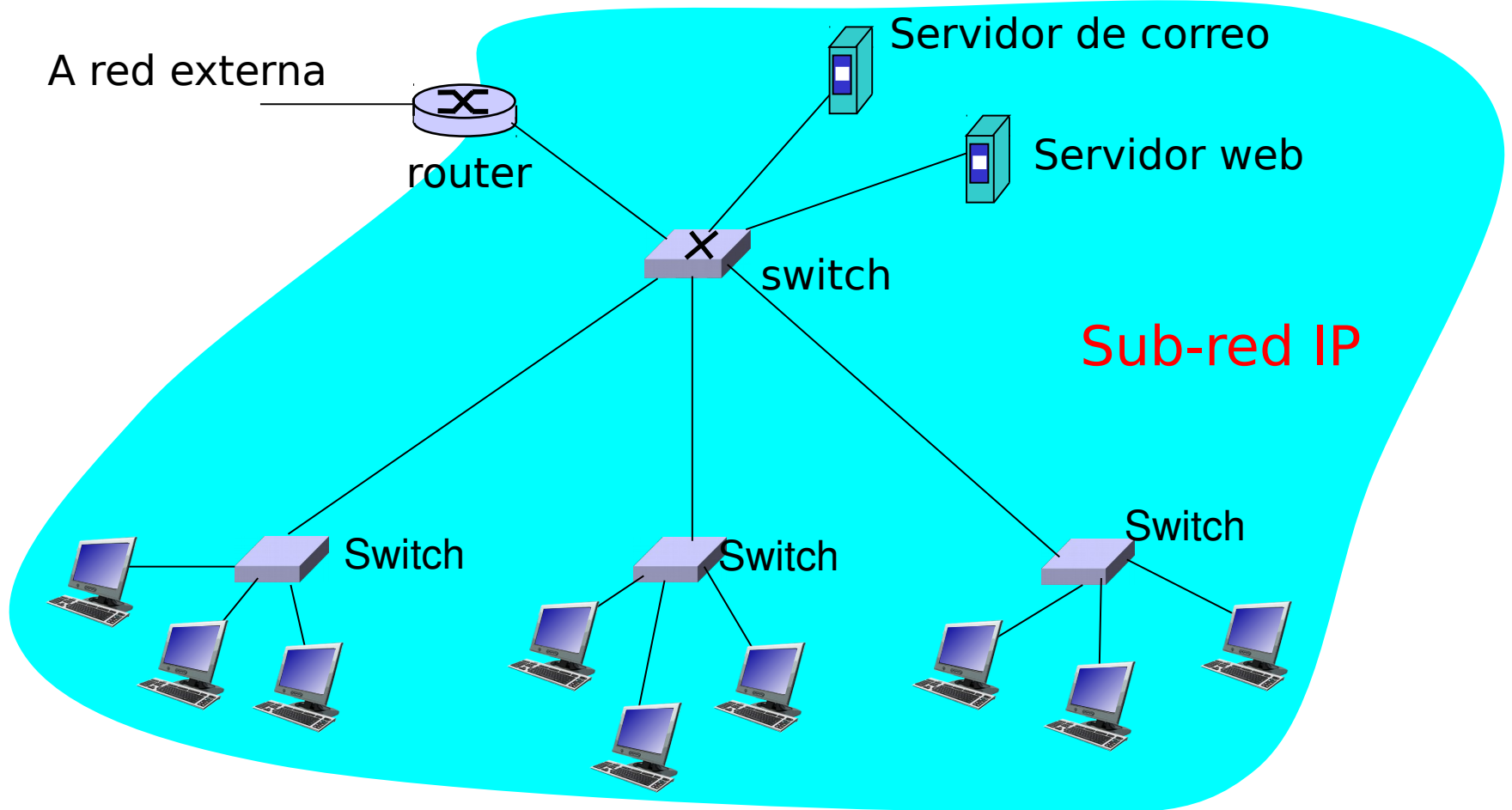
Conmutación: puede haber comunicación A-a-A' y B-a-B' simultáneamente, no hay colisiones



Más sobre Switches

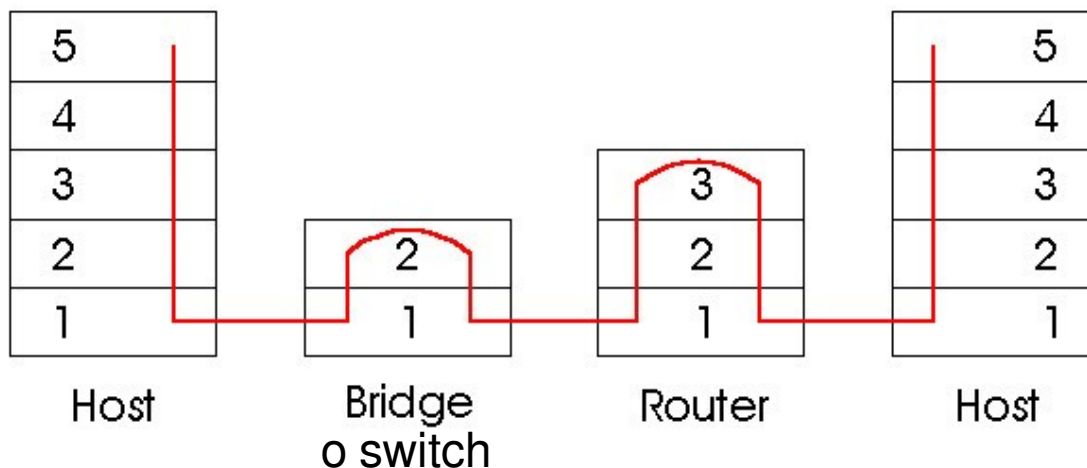
- ❑ **Conmutación cut-through (corte camino):** en estos switches las tramas son re-enviadas de la entrada a la salida sin almacenar el paquete completamente
 - Se logra una reducción de latencia (retardo)
- ❑ Hay switches con interfaces compartidas o dedicadas de 10/100/1000 Mbps.

Redes Institucionales



Switches vs. Routers

- ❑ Ambos son dispositivos de almacenamiento y re-envío
 - Routers son dispositivos de capa de red (examinan encabezados de capa de red)
 - Switches son dispositivos de capa enlace de datos.
- ❑ Routers mantienen tablas de ruteo, implementan los algoritmos de ruteo
- ❑ Switches mantienen las tablas de switches, implementan filtrado y algoritmos de aprendizaje



Resumen comparativo

	Hubs	Switches	Routers
Aisla tráfico	No	Si	Si
plug&play	Si	Si	No
Ruteo óptimo	No	No	Si
Cut through	Si	Si (*)	No

(*): no todos lo ofrecen

Capa Enlace de Datos

- ❑ 5.1 Introducción y servicios
- ❑ 5.2 Detección y corrección de errores
- ❑ 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- ❑ 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
 - Hub y switches
- ❑ 5.6 VLANs

Capa Enlace de Datos

- ❑ 5.1 Introducción y servicios
- ❑ 5.2 Detección y corrección de errores
- ❑ 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- ❑ 5.4 Direccionamiento de capa enlace
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Hubs y switches
- ❑ 5.7 PPP
- ❑ 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS