

# Capítulo 5: Capa Enlace de Datos II

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 y ARP

## □ Direcciones IP son de 32-bit:

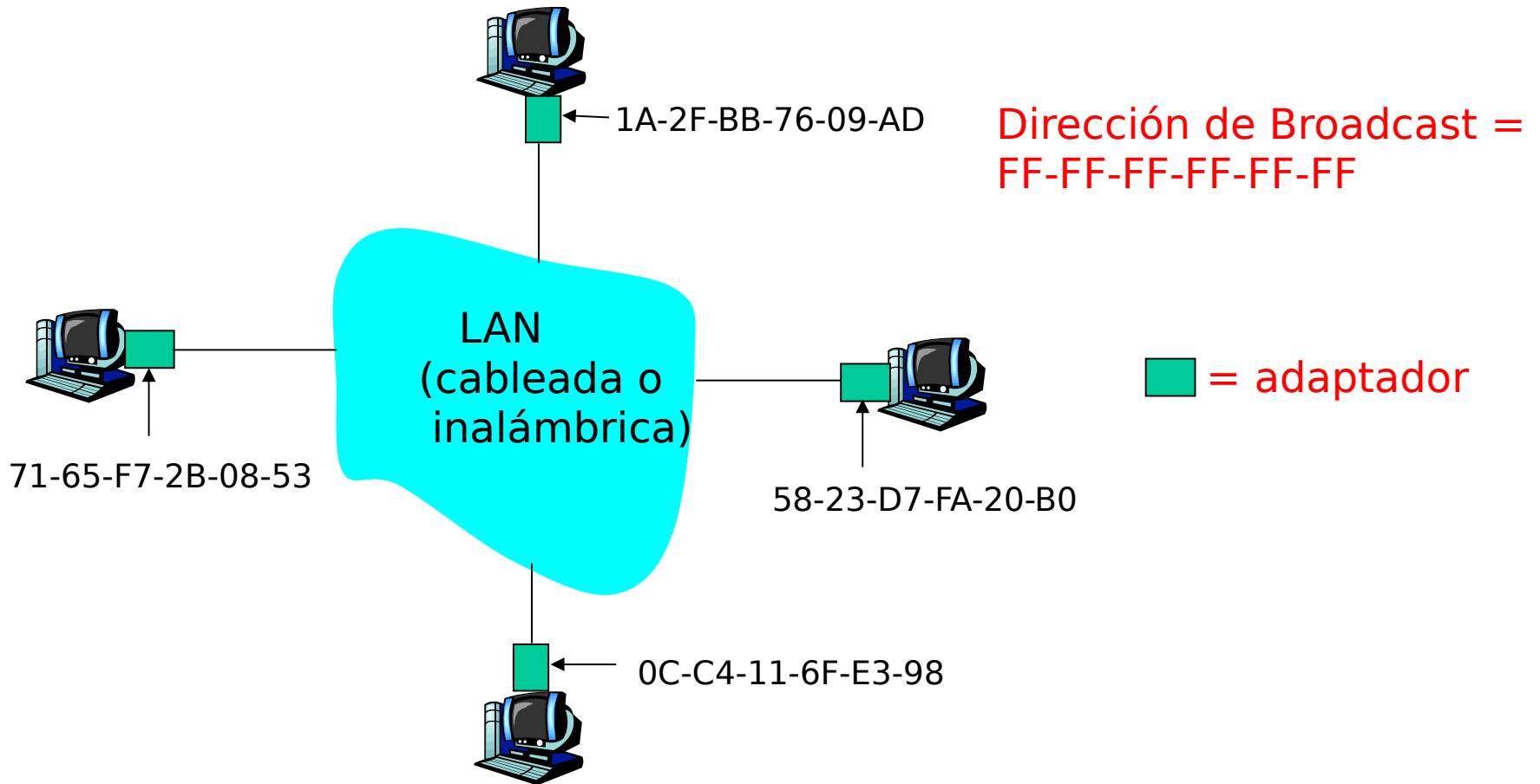
- Son direcciones de la capa de red
- Son usada para conducir un datagrama a la subred (subnet) destino
- IP es jerárquico y no es portátil (depende de su subnet)
  - asignado por administrador de subnet

# Direcciones MAC y ARP

- Dirección MAC (usado en Ethernet):
  - Son usadas para conducir un datagrama de una interfaz a otra interfaz físicamente conectadas (en la misma red)
  - Son de 48 bits (en mayoría de LANs) están grabadas en una ROM de la tarjeta adaptadora
  - Direcciones MAC 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 a otra

# Direcciones LANs y ARP

Cada adaptador (tarjeta) en la LAN tiene una dirección MAC única



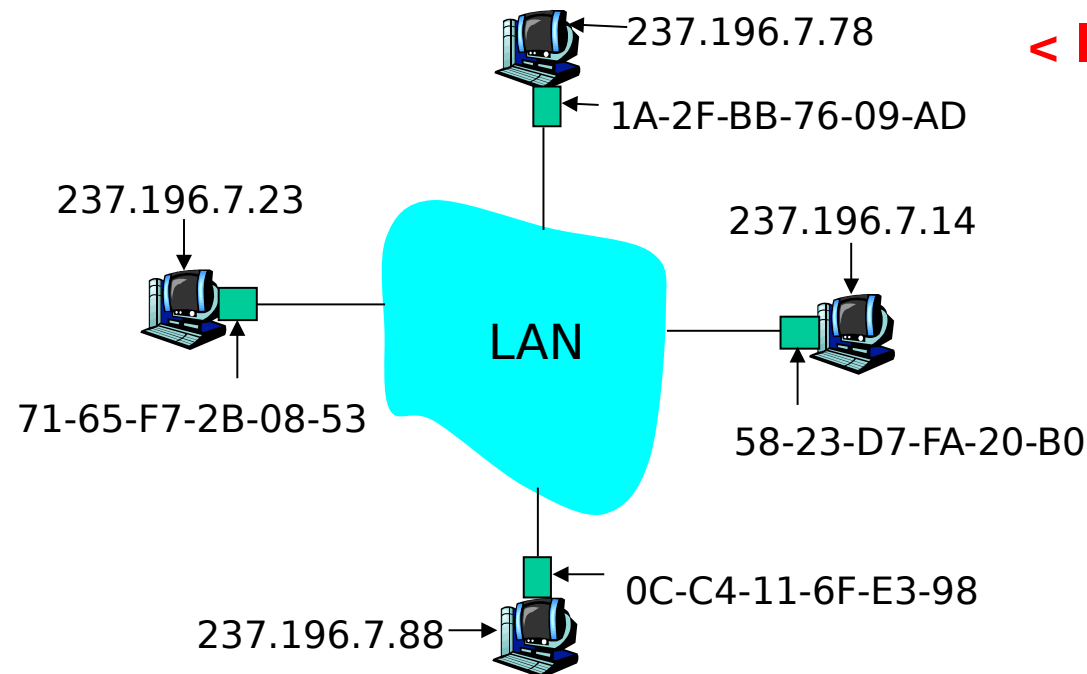
# ARP: Address Resolution Protocol

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.

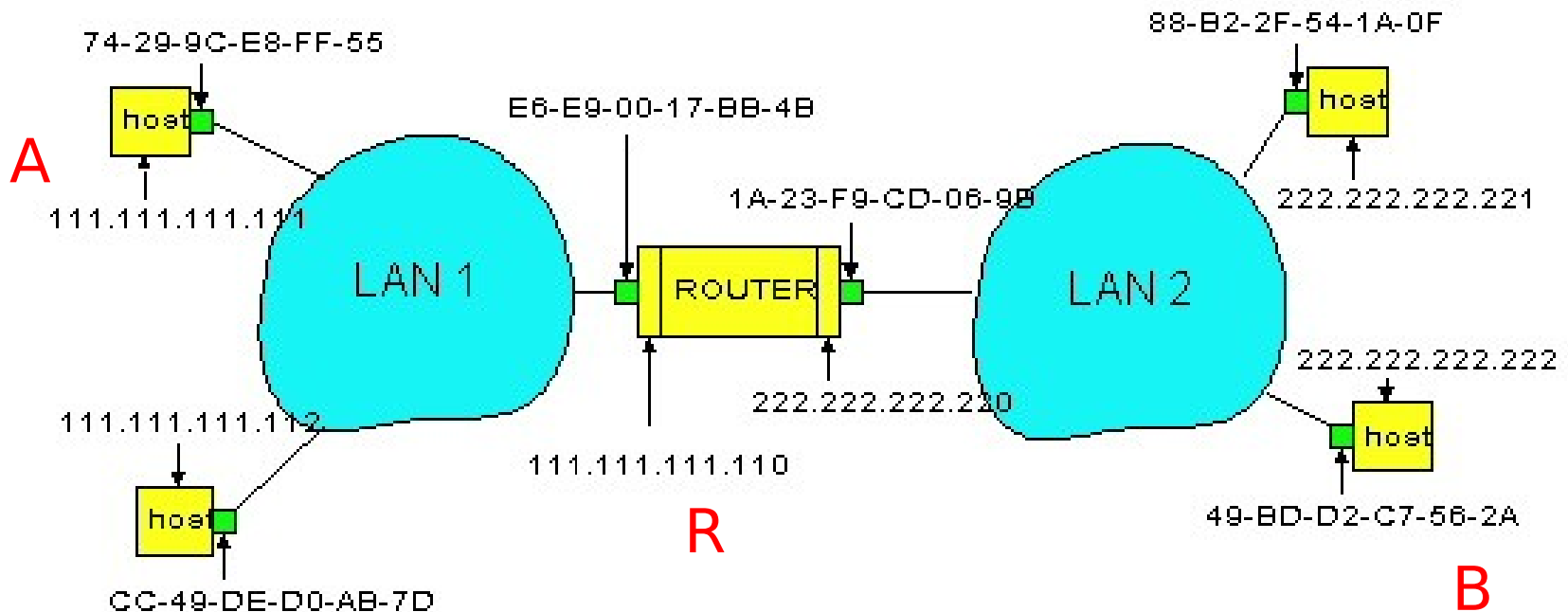


# Protocolo ARP: Dentro de la misma LAN (network)

- **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 la administradores

# Ruteo a otra LAN

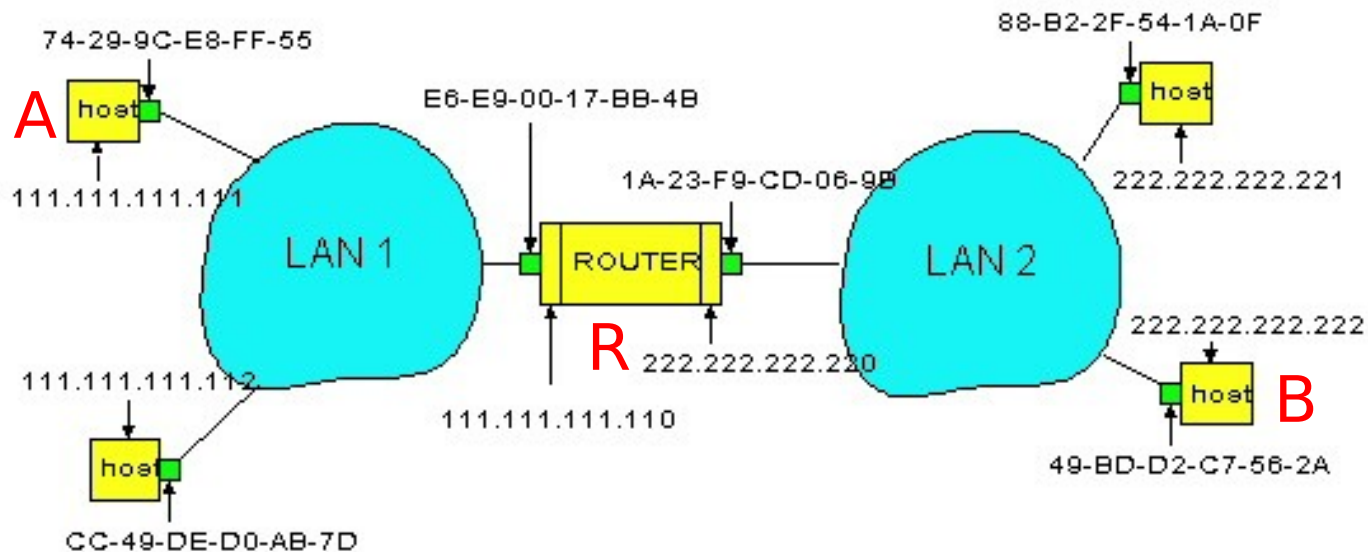
Seguimiento: envío de datagrama desde A a B vía R  
supone que A conoce dirección IP de B



- En router R hay dos tablas ARP, una por cada interfaz (o por cada red LAN del router R)



- ❑ **A** crea datagrama con fuente **A** y 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**
- ❑ El adaptador de **A** envía la trama
- ❑ El adaptador de **R** recibe la trama
- ❑ **R** saca el datagrama IP de la trama Ethernet, y ve que el destino es **B**
- ❑ **R** usa ARP para obtener la dirección MAC de **B**
- ❑ **R** crea la trama con el datagrama IP de **A** para **B** y lo envía a **B**



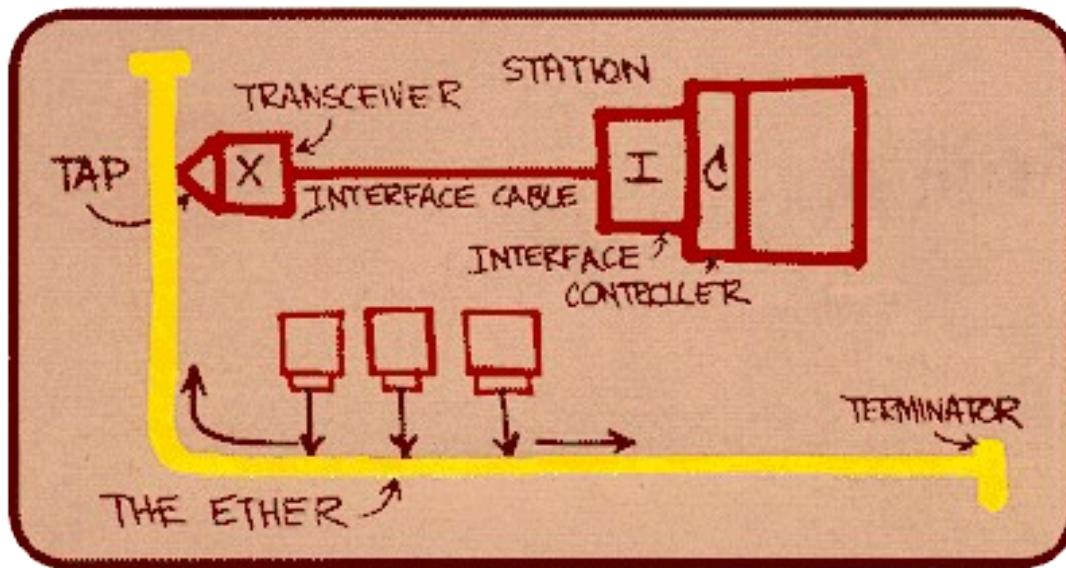
# Capa Enlace de Datos

- ❑ 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” :

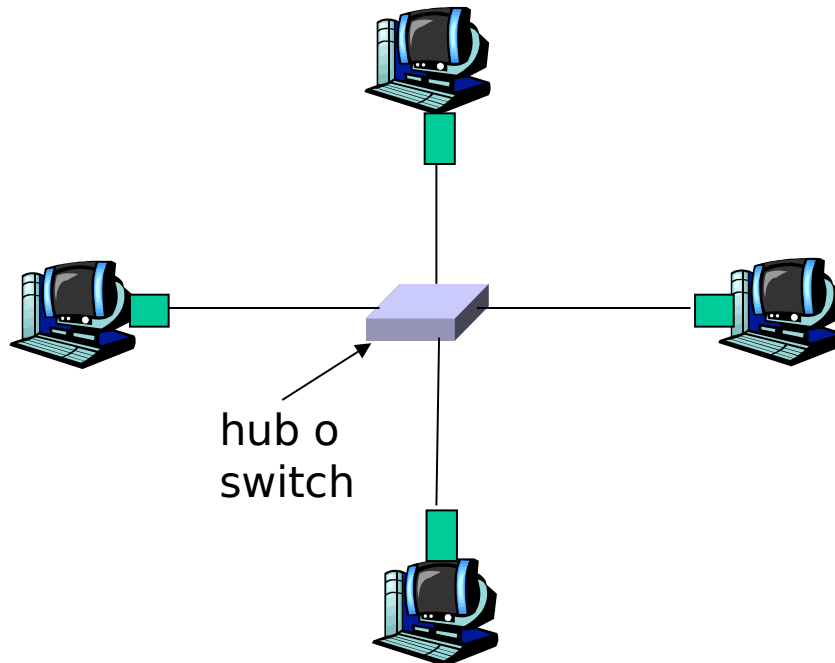
- ❑ Barata!
- ❑ Más simple y barata que LANs con token ring y ATM
- ❑ Avanza en velocidad: 10 Mbps – 10 Gbps



Primer borrador de Metcalfe

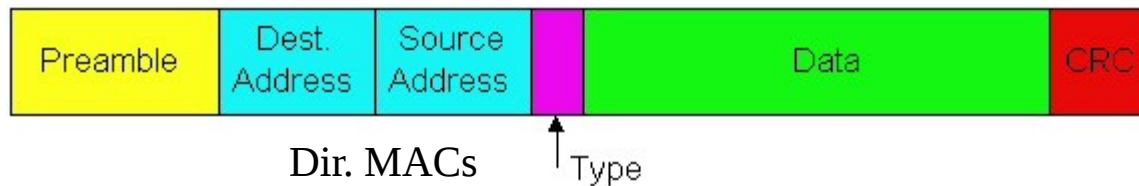
# Topología Estrella

- ❑ En los 90 era común la topología Bus
- ❑ Hoy domina la topología estrella
- ❑ Elecciones de conexión: hub (extinguido) o switch



# Estructura de trama Ethernet

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



## Preámbulo:

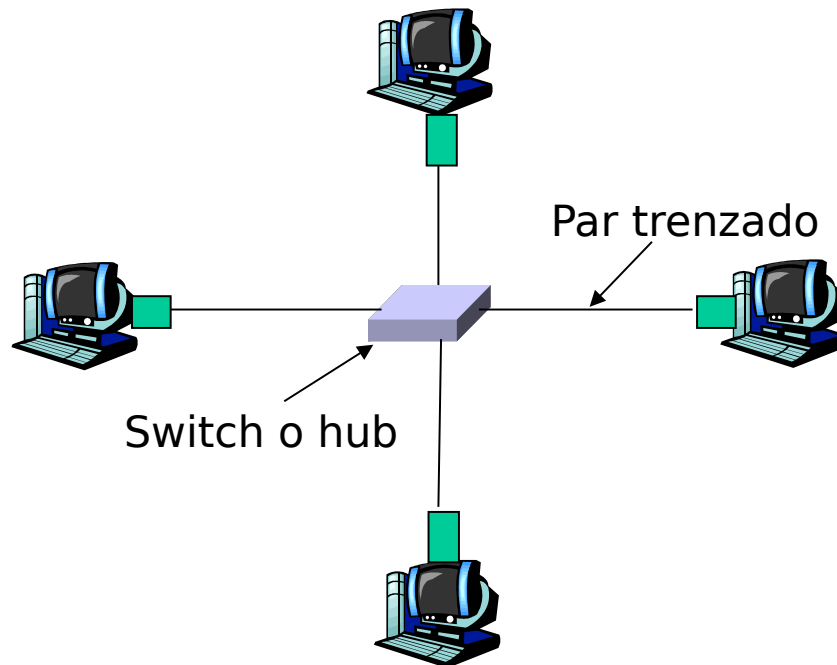
- ❑ 7 bytes con patrón 10101010 seguido por un byte con patrón 10101011
- ❑ Usado para sincronizar la frecuencia de reloj del receptor

# 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.
  - Los vacíos son llenados si la aplicación está usando TCP.
  - Si la aplicación está usando UDP entonces va a contener vacíos en la secuencia de datos recibidos.

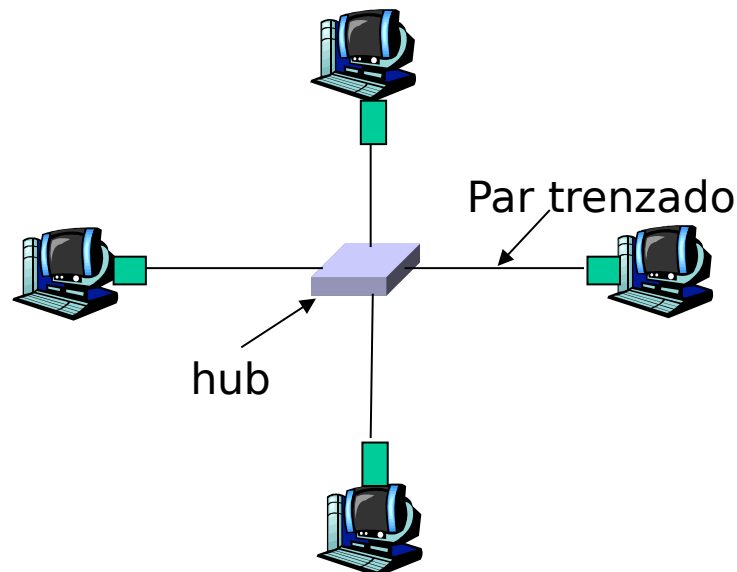
# 10BaseT y 100BaseT

- ❑ Tasas de 10/100 Mbps; 100 Mbps es llamado “fast ethernet”
- ❑ T significa Twisted Pair (par trenzado)
- ❑ Nodos se conectan a un 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





# Gbit Ethernet

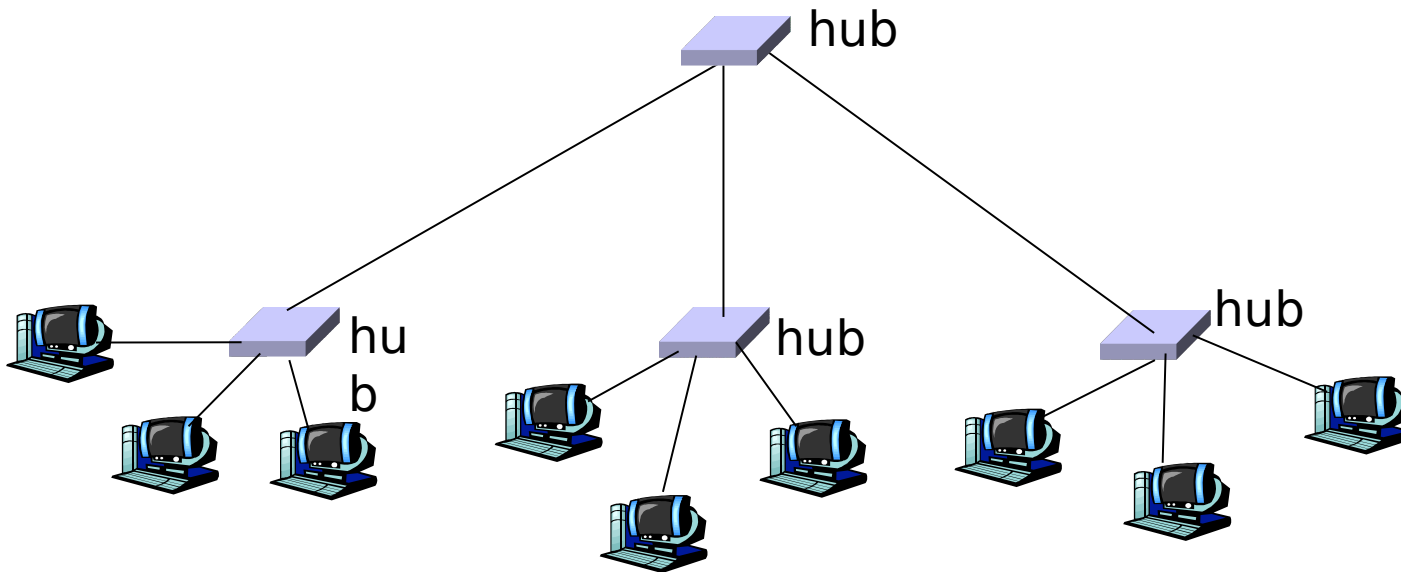
- ❑ Usa formato de trama Ethernet estándar
- ❑ Permite enlaces punto a punto y vía canales broadcast compartidos
- ❑ En modo compartido usa CSMA/CD; se requiere corta distancia entre nodos por eficiencia
- ❑ Full-Duplex a 1 Gbps para enlaces punto a punto o usando switches.
- ❑ Ahora se cuenta con 10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

# Interconexión con hubs

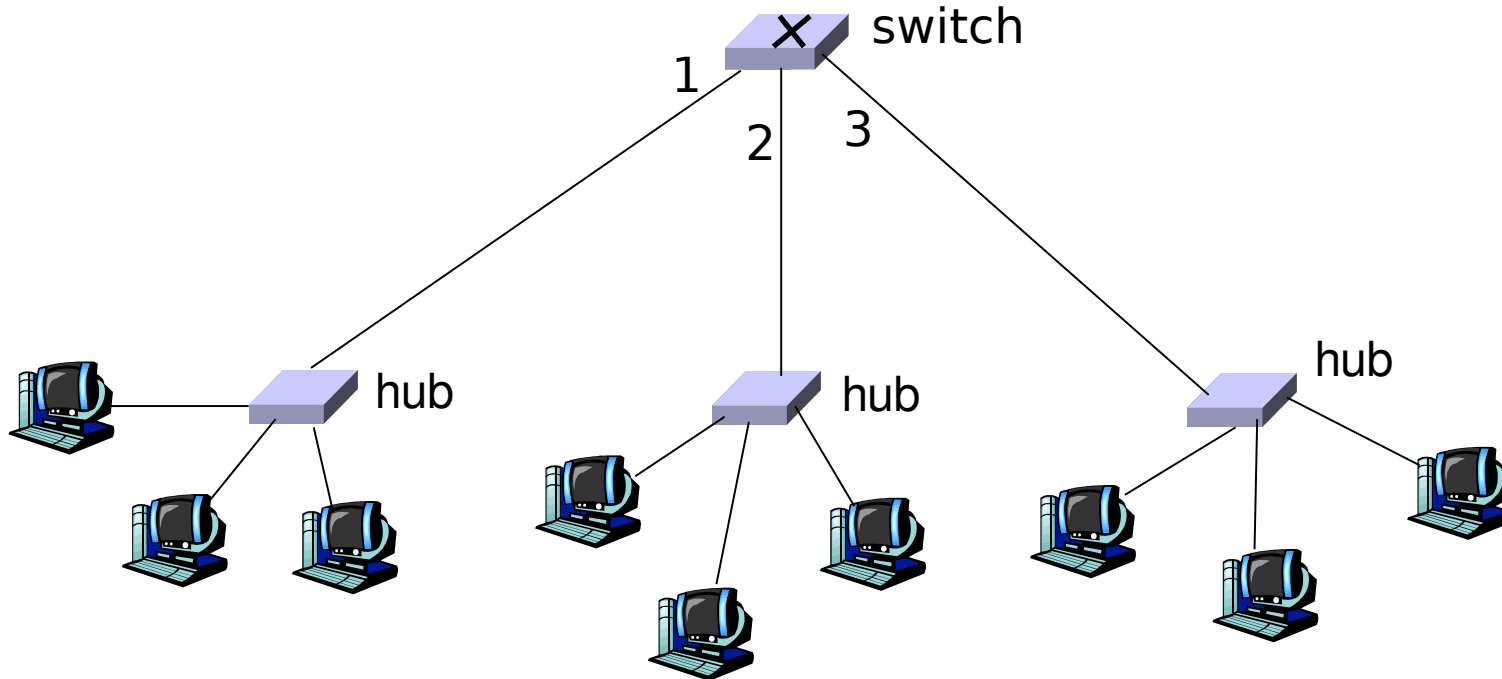
- ❑ Hub de Backbone interconecta segmentos LAN
- ❑ Extiende distancia máxima entre nodos
- ❑ Pero segmentos de colisión individuales se transforman en un gran dominio de colisión
- ❑ No se puede conectar 10BaseT y 100BaseT



# 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



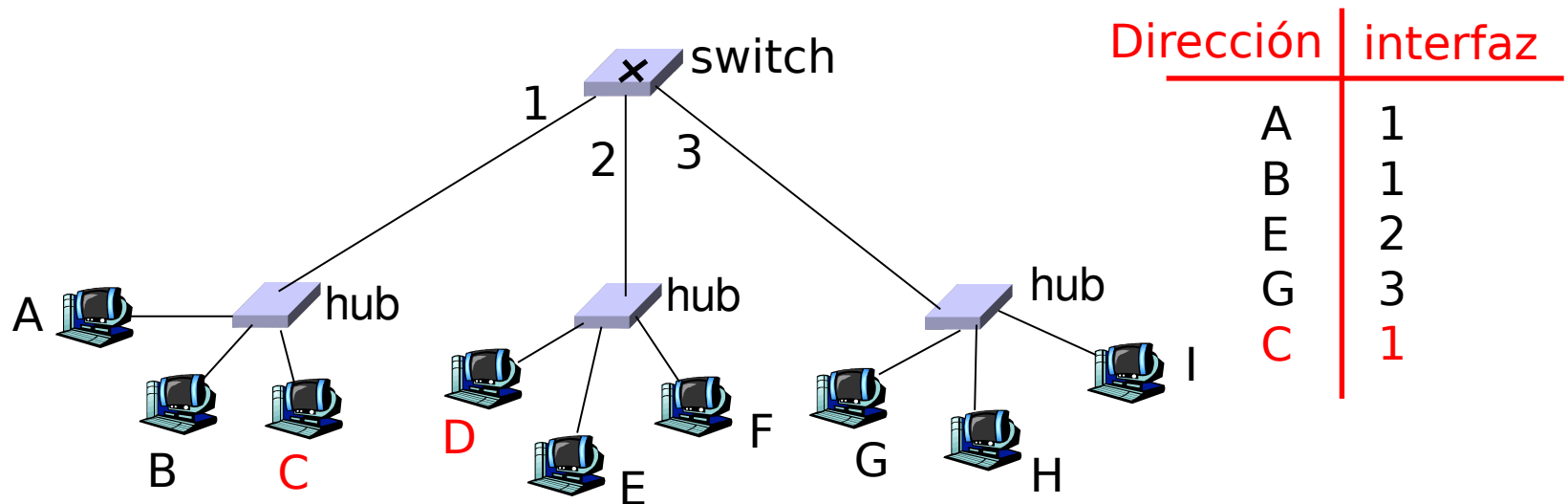
- ❑ ¿Cómo determinar en qué segmento LAN enviar la trama?
- ❑ Similar a problema de ruteo ...

# 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 “aprende” la interfaz del sector del Tx observando la MAC de la trama LAN de llegada
  - Graba el par Tx/localización en tabla del switch

# Ejemplo de Switches

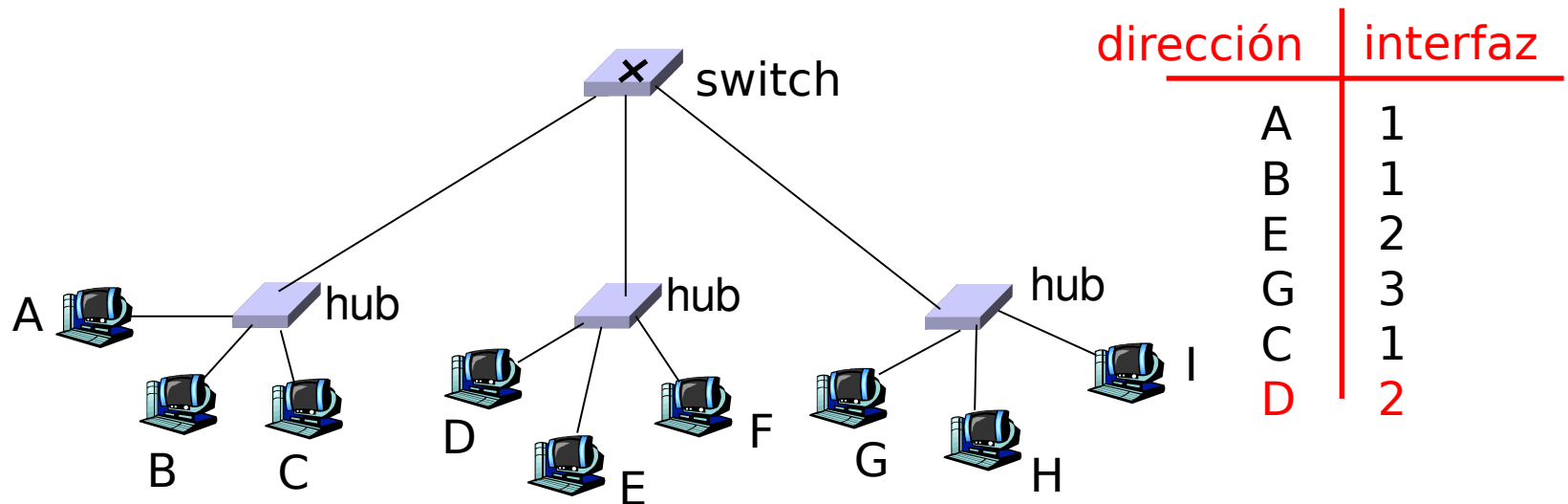
Supongamos que C envía una trama a D



- ❑ El switch (o bridge) recibe trama de C
  - Anota en tabla del switch que 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

Registre dirección origen

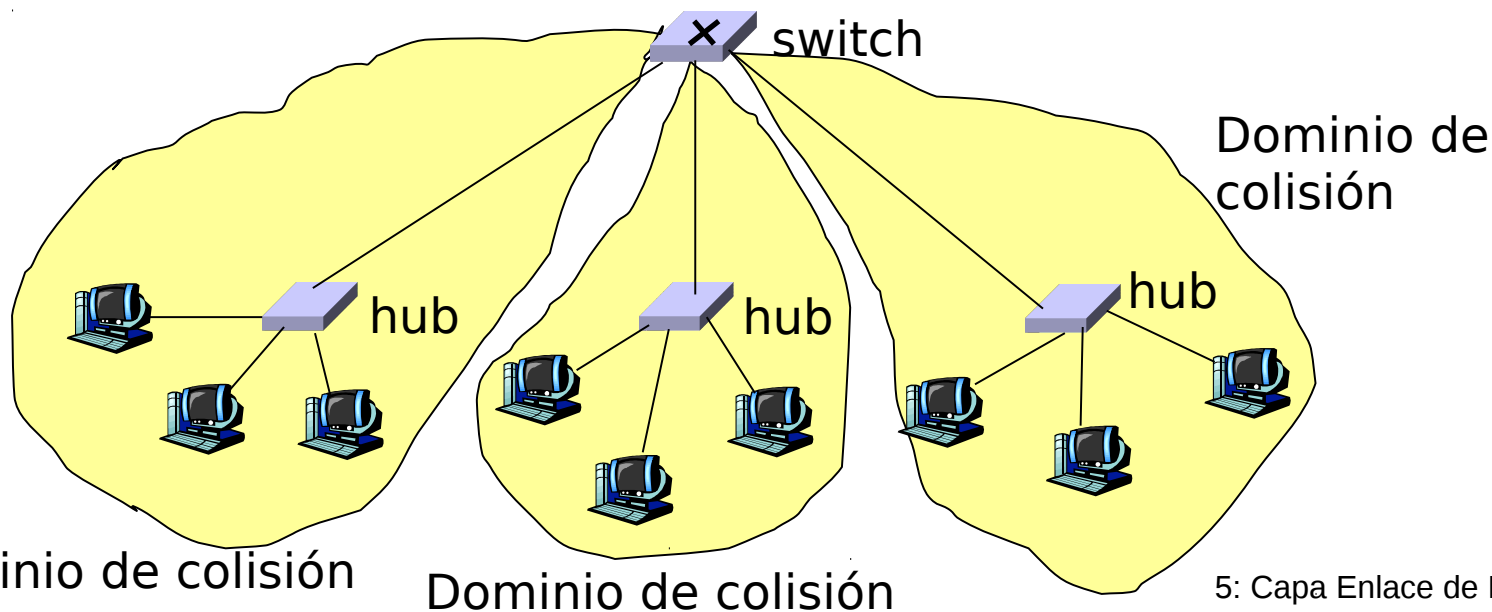
**}**

**}**

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

# Switch: Aislamiento de tráfico

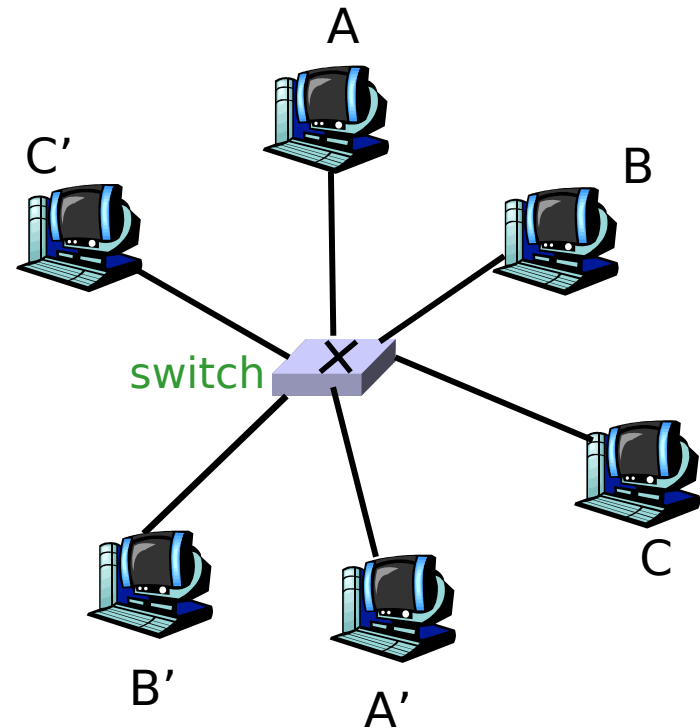
- El uso de un switch **divide la subred en segmentos** de LAN (para efectos de colisiones, por ejemplo)
- El switch **filtra** paquetes:
  - Las tramas de una mismo segmento de la LAN normalmente no son re-enviados a los otros segmentos
  - Los segmentos pasan a ser **dominios de colisión separados**



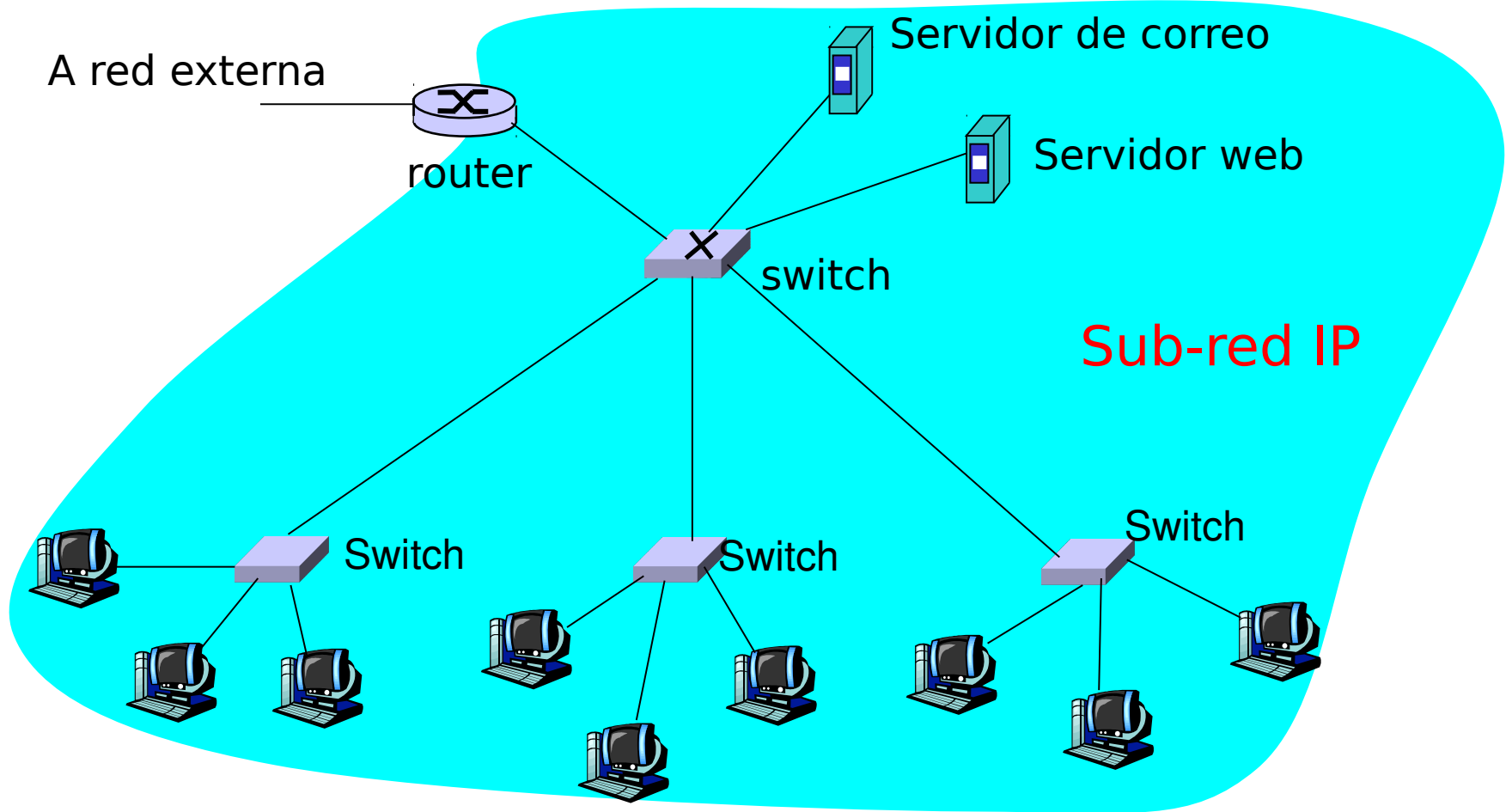
# Switches: accesos dedicados

- ❑ 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

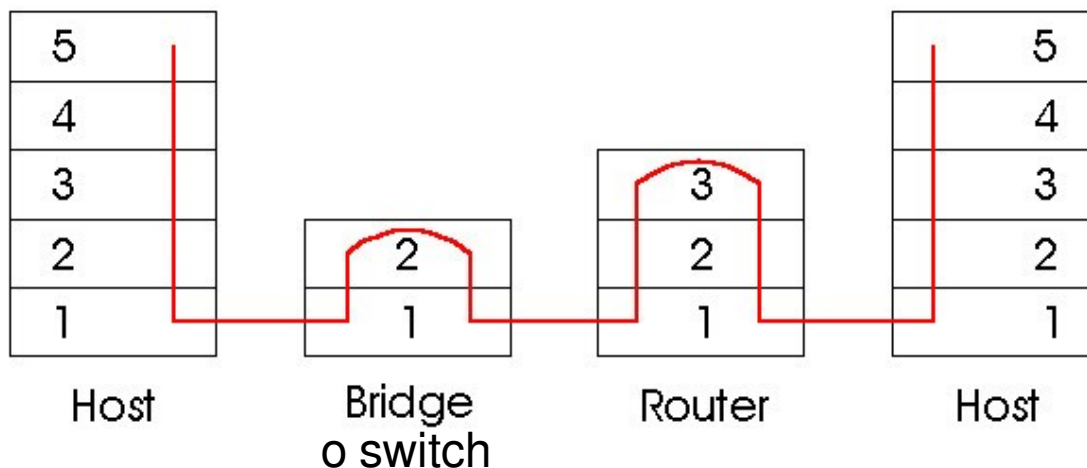


# Redes Institucionales



# 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

|                      | <b>Hubs</b> | <b>Switches</b> | <b>Routers</b> |
|----------------------|-------------|-----------------|----------------|
| <b>Aisla tráfico</b> | No          | Si              | Si             |
| <b>plug&amp;play</b> | Si          | Si              | No             |
| <b>Ruteo óptimo</b>  | No          | No              | Si             |
| <b>Cut through</b>   | Si          | Si (*)          | No             |

(\*): no todos lo ofrecen