

# 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* 3rd edition. Jim Kurose, Keith Ross Addison-Wesley, 2004.
- Material del curso anterior ELO322 del Prof. Tomás Arredondo Vidal

# 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

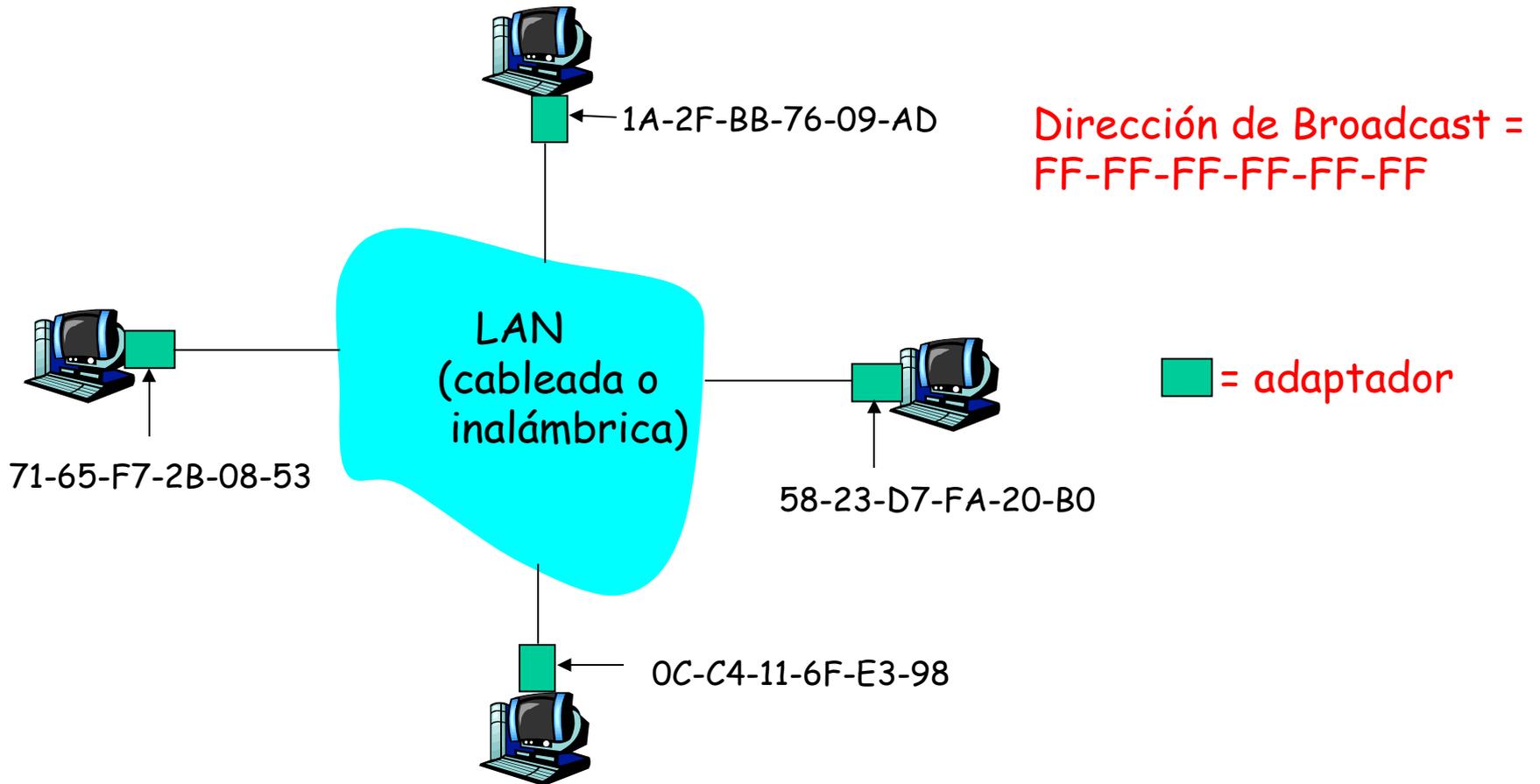
- Direcciones IP son de 32-bit:
  - Son direcciones de la capa de red
  - Son usada para conducir un datagrama a la subred (subnet) destino
  - IP es jerárquico y no es portátil (depende de su subnet)
    - asignado por administrador de subnet

# Direcciones MAC y ARP

- Dirección MAC (usado en Ethernet):
  - Son usadas para conducir un datagrama de un 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
  - Compañías compran porciones del espacio de direcciones disponibles
  - MAC no es jerárquico, es portátil
    - Se puede mover una tarjeta de una LAN a otra

# Direcciones LANs y ARP

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



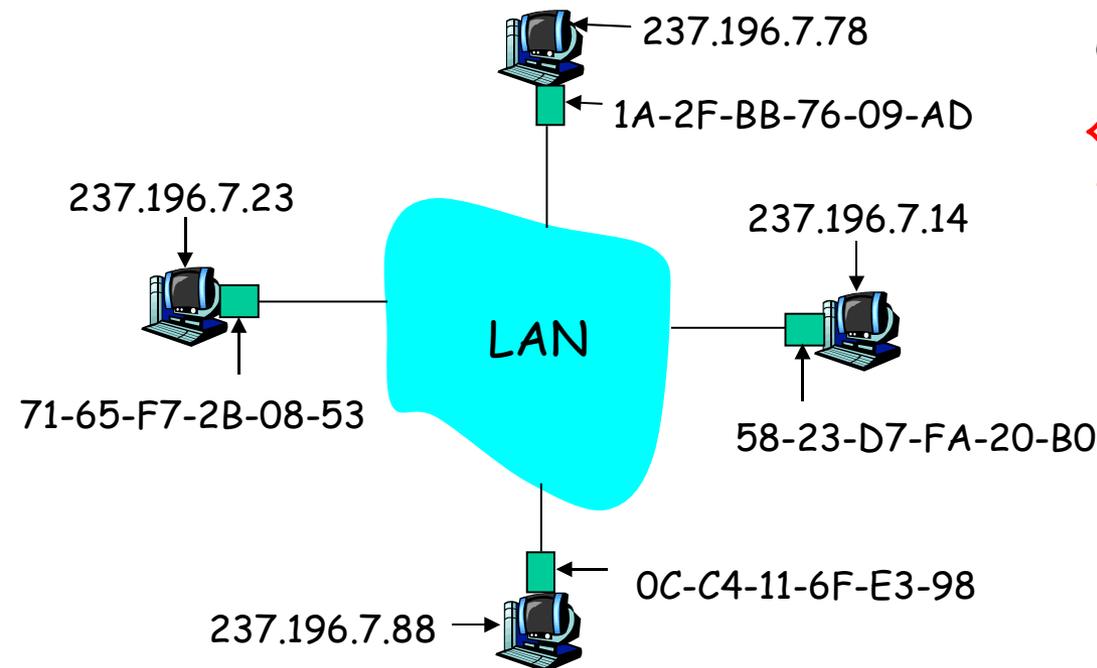
# ARP: Address Resolution Protocol

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.

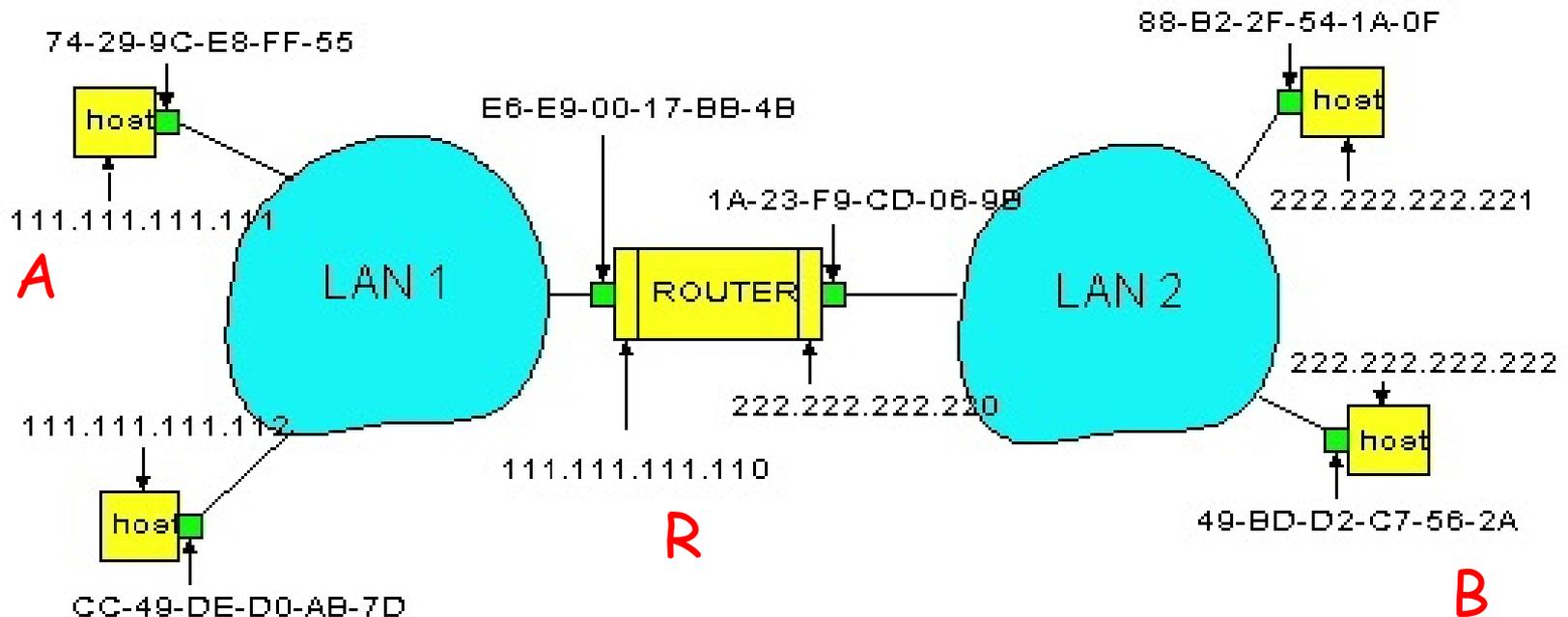


# Protocolo ARP: Dentro de la misma LAN (network)

- 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-a-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

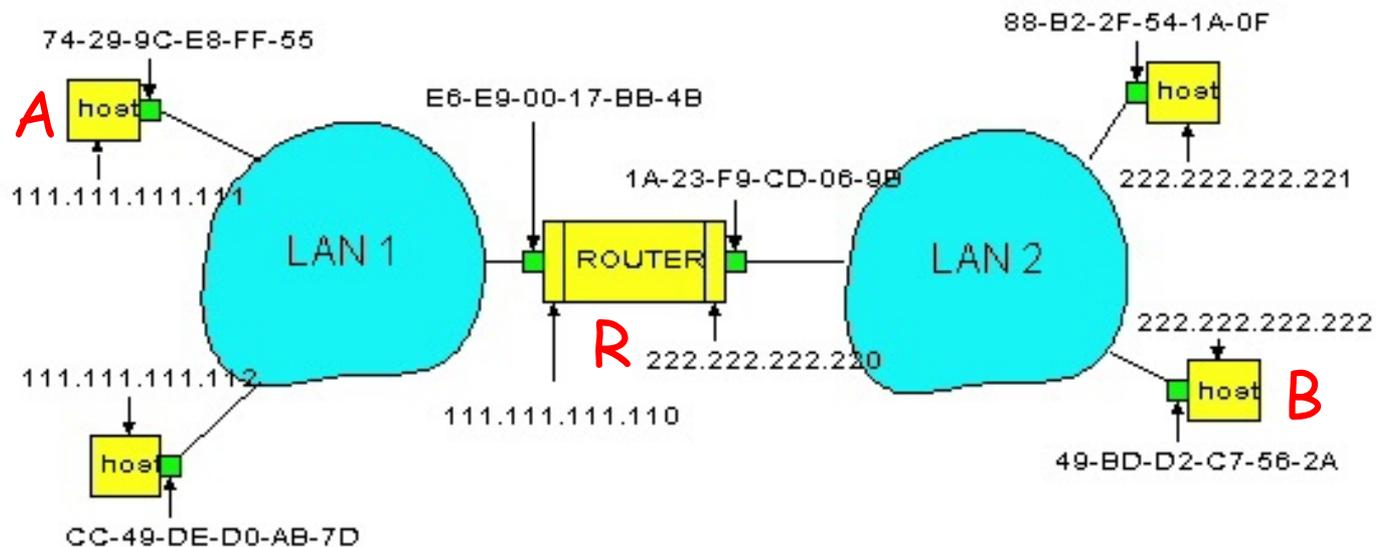
# Ruteo a otra LAN

Seguimiento: envío de datagrama desde A a B vía R  
asume 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**



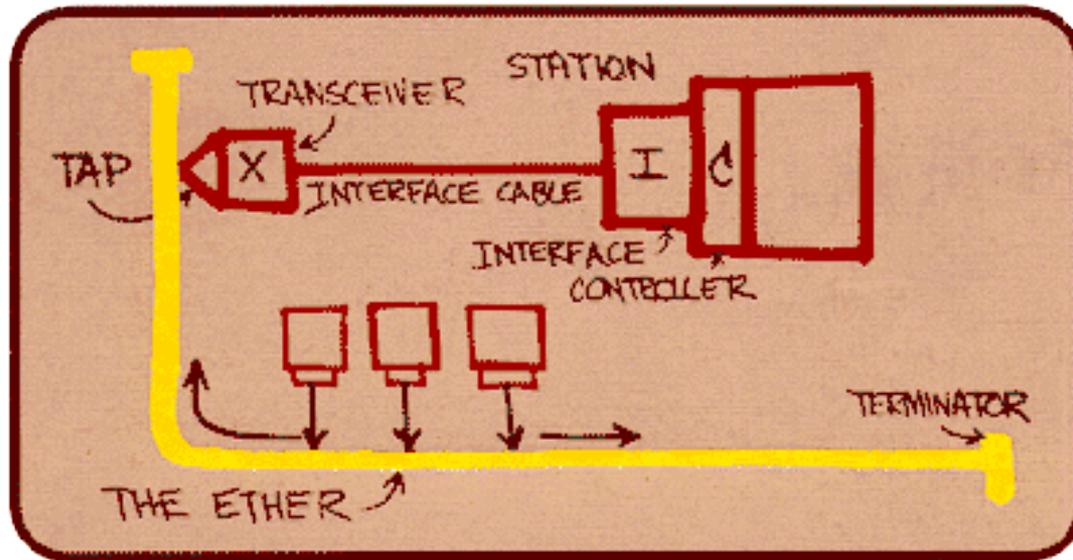
# Capa Enlace de Datos

- 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" :

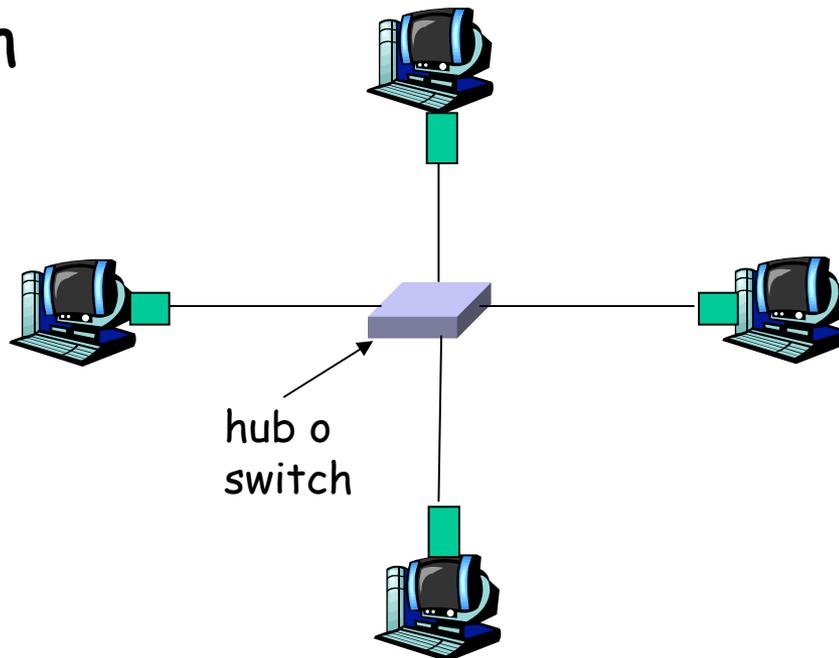
- ❑ Barata!
- ❑ Más simple que y barata que LANs con token ring y ATM
- ❑ Avanza en velocidad: 10 Mbps - 10 Gbps



Primer borrador de Metcalfe

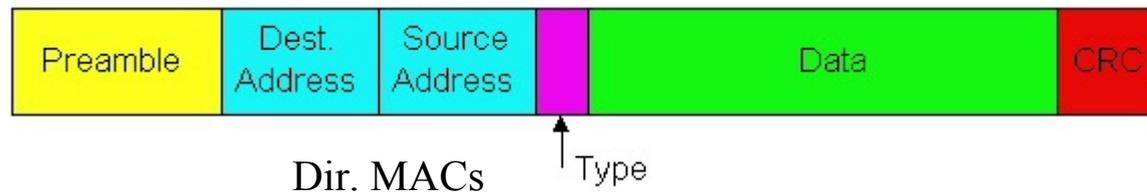
# Topología Estrella

- ❑ En los 90 era común la topología Bus
- ❑ Hoy (2008) domina la topología estrella
- ❑ Elecciones de conexión: hub (en extinción) o switch



# Estructura de trama Ethernet

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

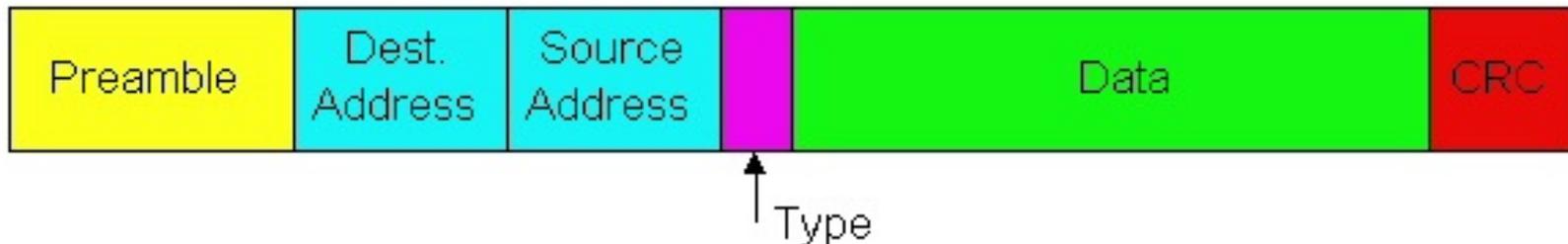


## Preámbulo:

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

# Estructura de Trama Ethernet

- **Direcciones:** 6 bytes
  - 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



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

# 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 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:** .1 microsec en 10 Mbps Ethernet ; para  $K=1023$ , se esperará alrededor de 50 msec

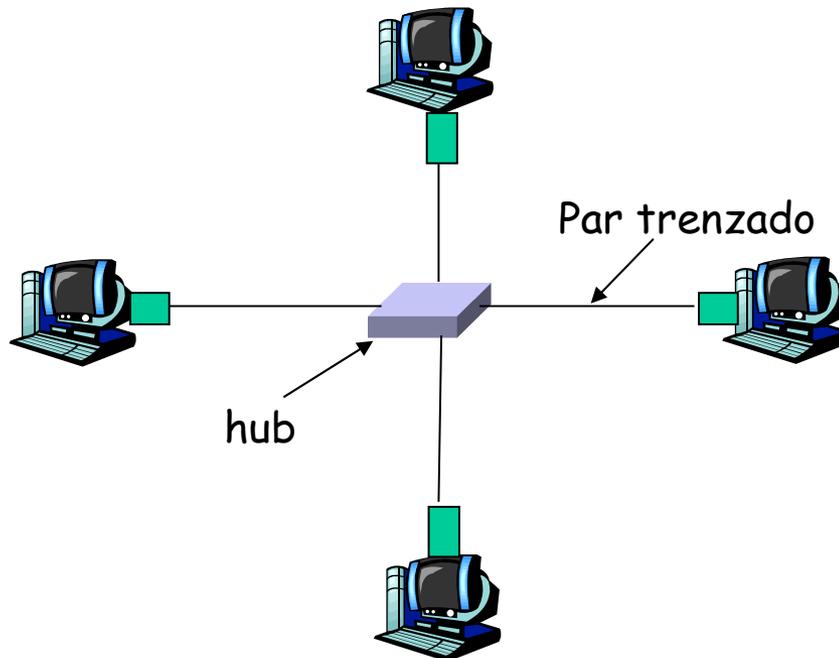
## **Backoff Exponencial:**

- **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  $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

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

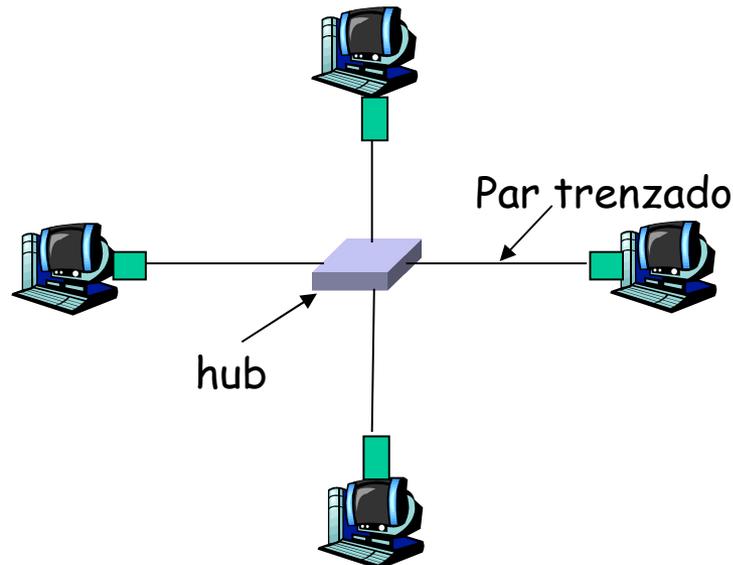
# 10BaseT y 100BaseT

- ❑ 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.

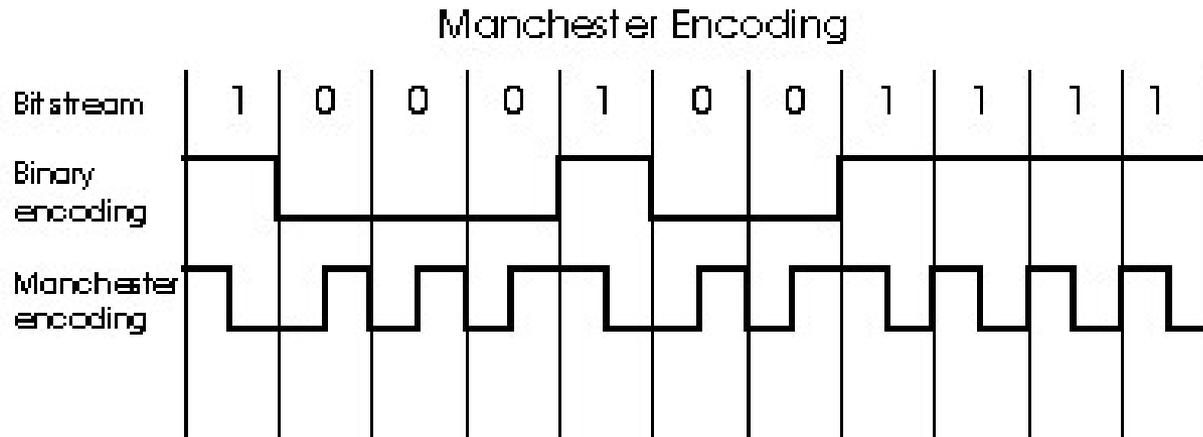


# Hubs

- Hubs son esencialmente repetidores de capa física:
  - Los bits que ingresan por un enlace salen por TODOS los otros
  - No la 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 los relojes se sincronicen
  - no requiere reloj centralizado o global entre nodos!
- ❑ Esta es materia de la capa física!

# Gbit Ethernet

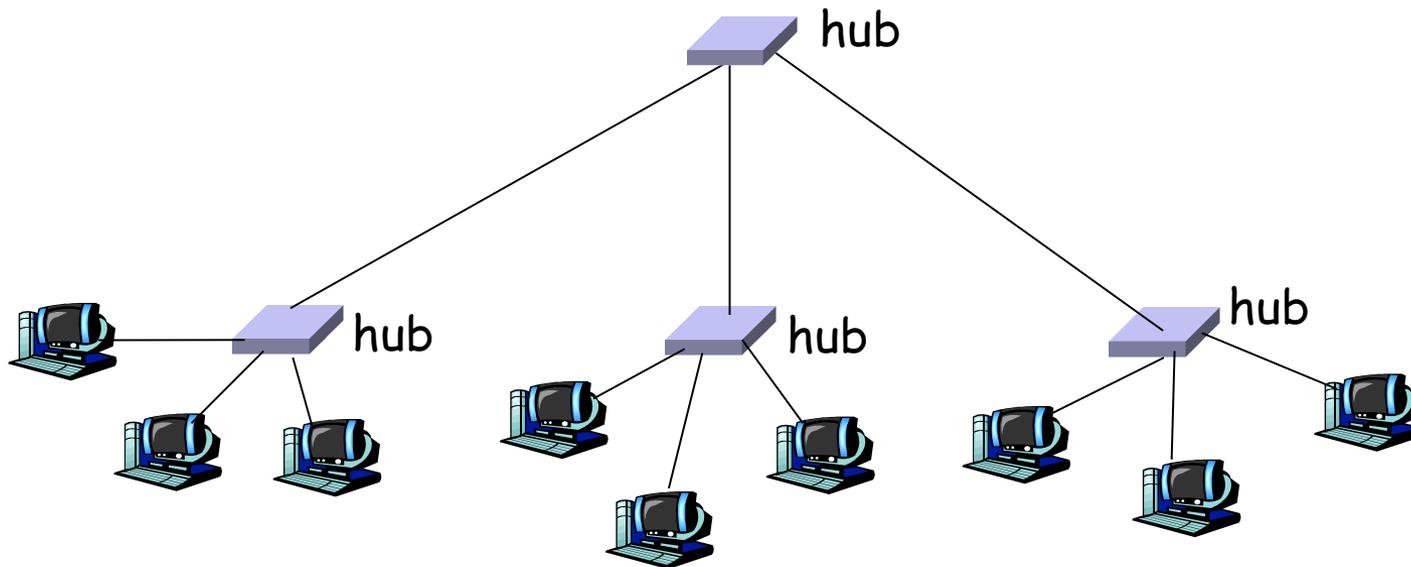
- ❑ Usa formato de trama Ethernet estándar
- ❑ Permite enlaces punto a punto y vía canales broadcast compartidos
- ❑ En modo compartido usa *CSMA/CD*; se requiere corta distancia entre nodos por eficiencia
- ❑ Usa hubs, llamados aquí "distribuidores con buffer"
- ❑ Full-Duplex a 1 Gbps para enlaces punto a punto
- ❑ 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

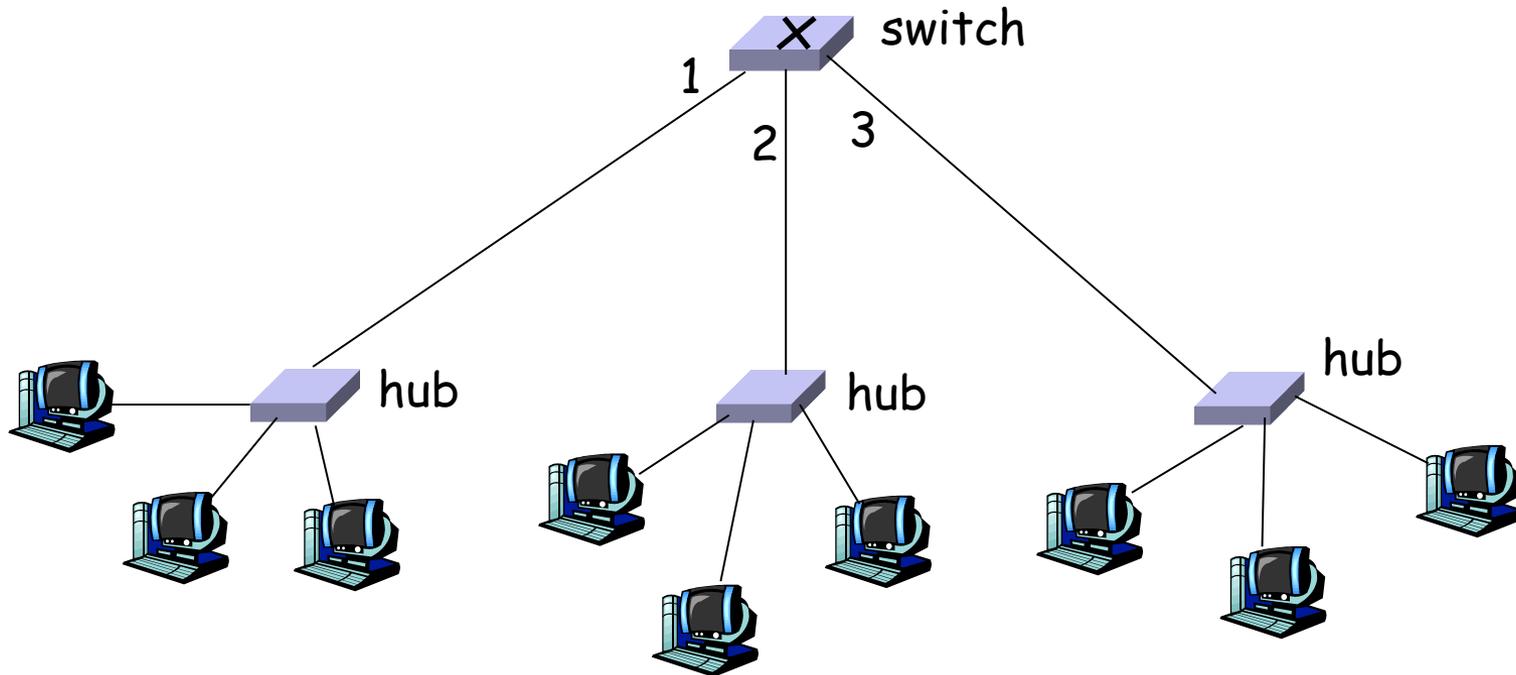
- ❑ Hub de Backbone interconecta segmentos LAN
- ❑ Extiende distancia máxima entre nodos
- ❑ Pero segmentos de colisión individuales se transforman en un gran dominio de colisión
- ❑ No se puede conectar 10BaseT y 100BaseT



# 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

- ❑ 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 localización del Tx viendo el segmento LAN de llegada
  - Graba el par Tx/localización en tabla del switch

# 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

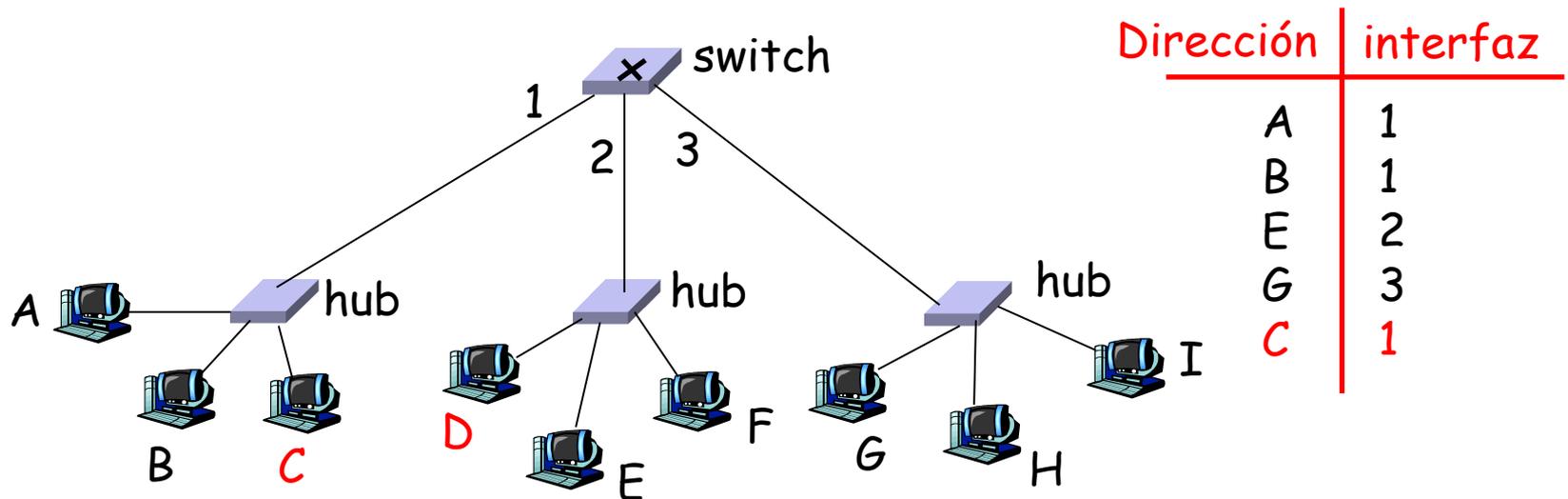
}

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



# Ejemplo de Switches

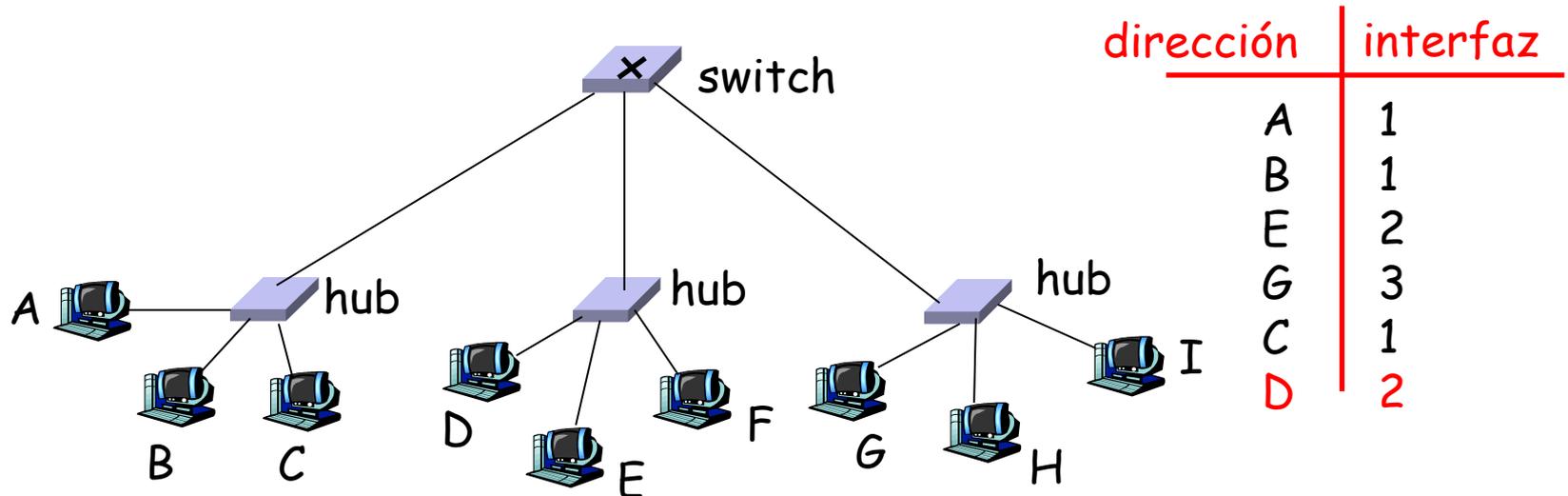
Supongamos que C envía una trama a D



- 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

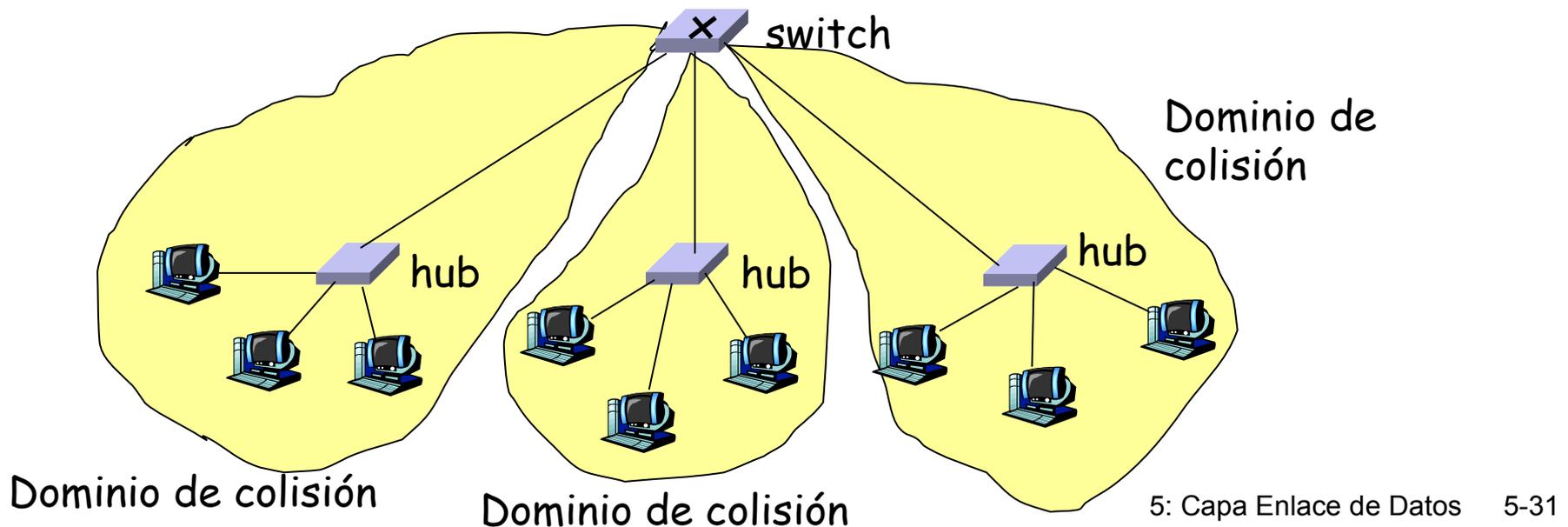
Supongamos que D responde a C con otra trama.



- 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

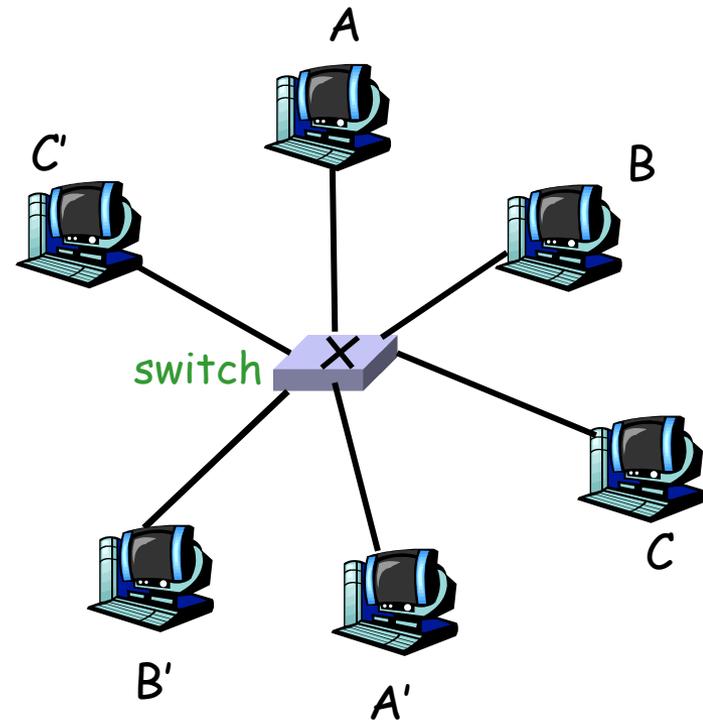
# Switch: Aislamiento de tráfico

- 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 un mismo segmento de la LAN no son re-enviados normalmente 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

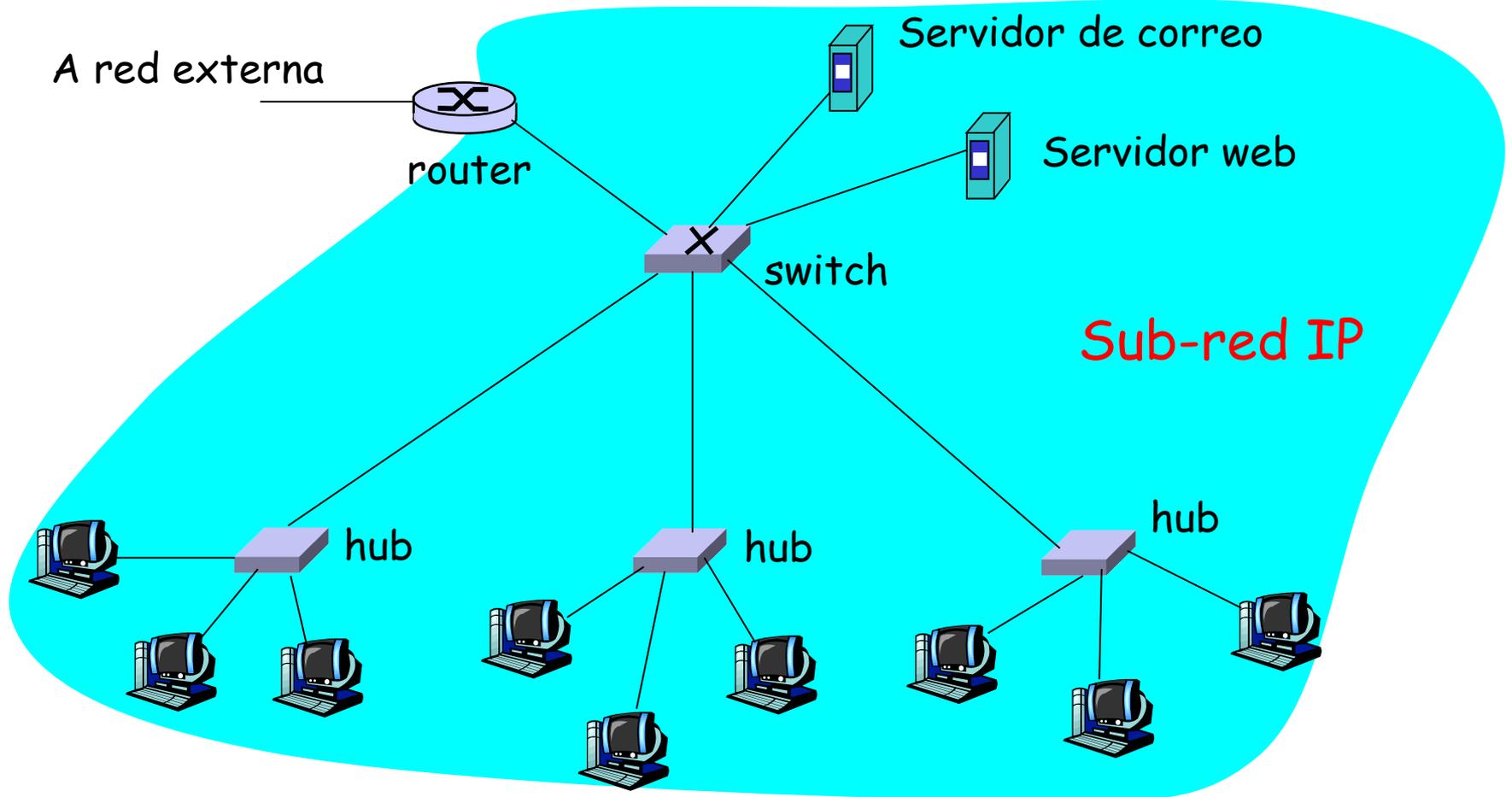


**Conmutación:** puede haber comunicación A-a-A' y B-a-B' simultáneamente, no hay colisiones

# Más sobre Switches

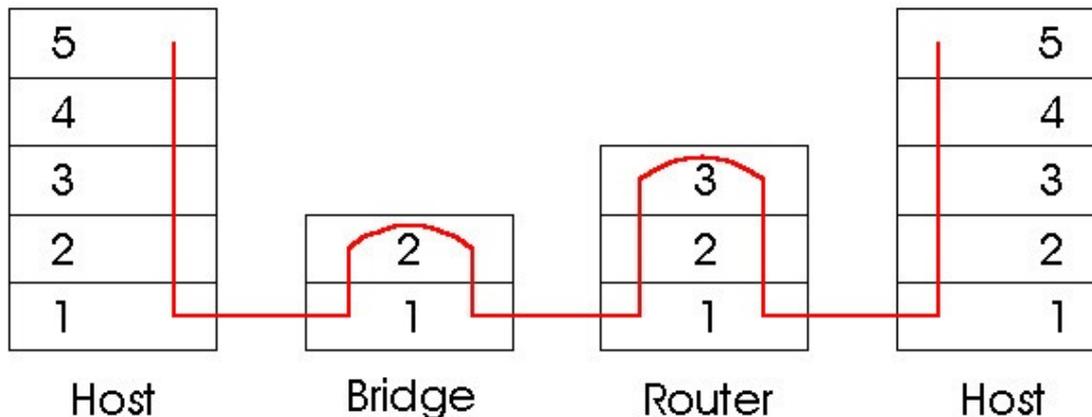
- ❑ **Conmutación cut-through (corte camino):** en estos switches las tramas son re-enviadas de la entrada a la salida sin almacenar el paquete completamente
  - Se logra una reducción de latencia (retardo)
- ❑ Hay switches con interfaces compartidas o dedicadas de 10/100/1000 Mbps.

# 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, implementas los algoritmos de ruteo
- Switches mantienen las tablas de switches,



aprendizaje

# Resumen comparativo

	<u>hubs</u>	<u>routers</u>	<u>switches</u>
Aisla tráfico	no	Si	Si
plug & play	Si	no	Si
Ruteo óptimo	no	Si	no
cut through	Si	no	Si