

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.

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:

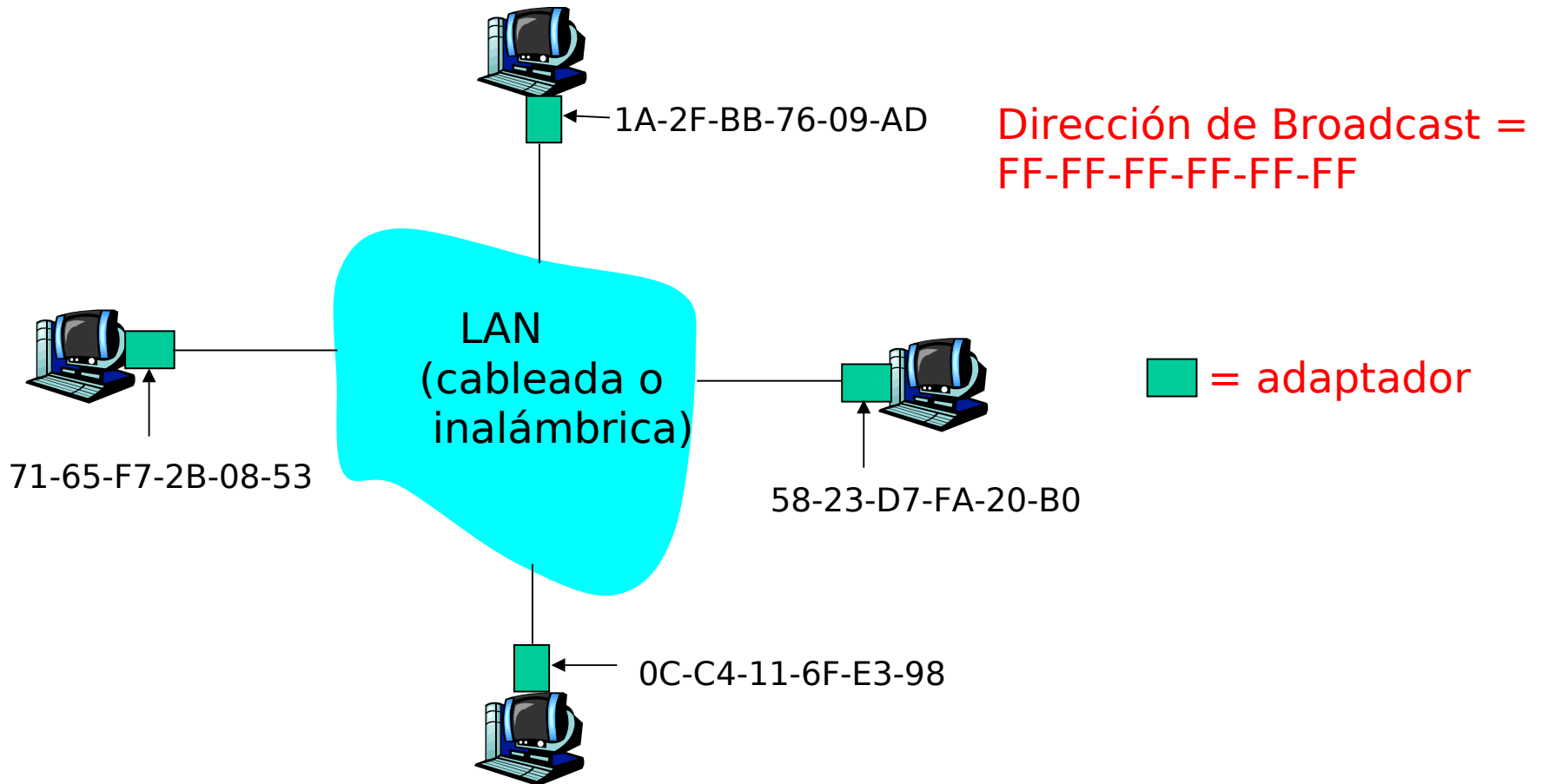
- Son direcciones de la capa de red
- Son usada para conducir un datagrama a la subred (subnet) destino
- IP es jerárquico y no es portátil (depende de su subnet)
 - asignado por administrador de subnet

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



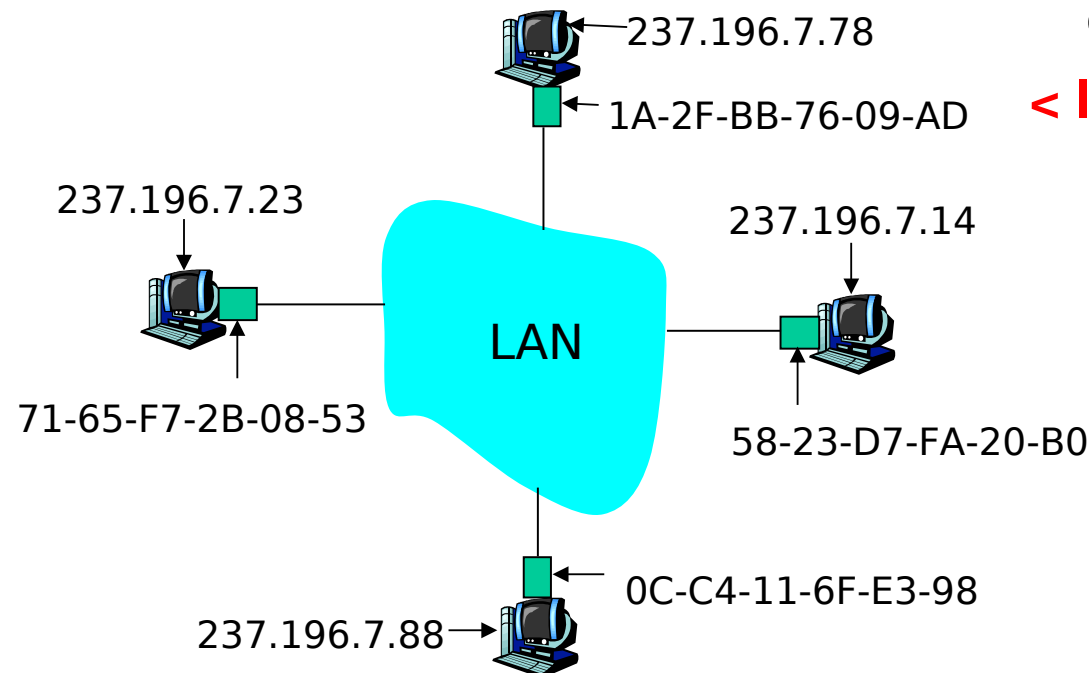
ARP: Address Resolution Protocol

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.

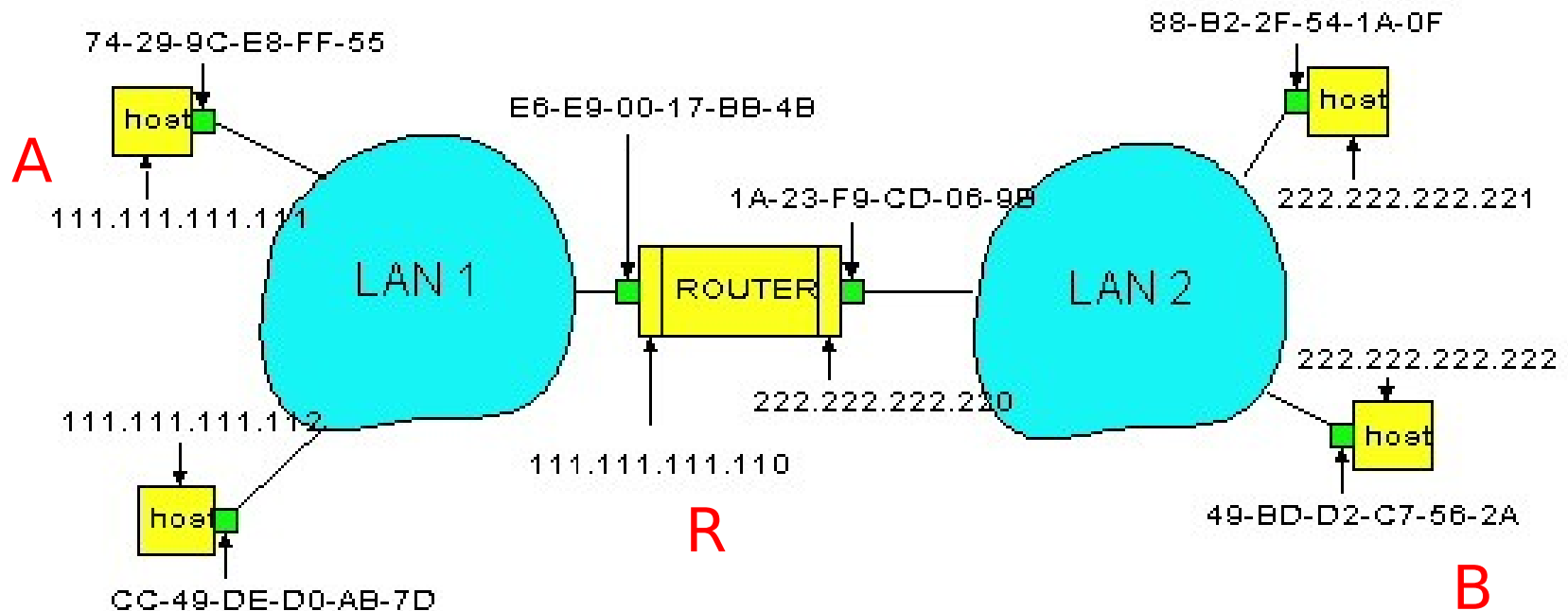


Protocolo ARP: Dentro de la misma LAN (network)

- ▢ **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

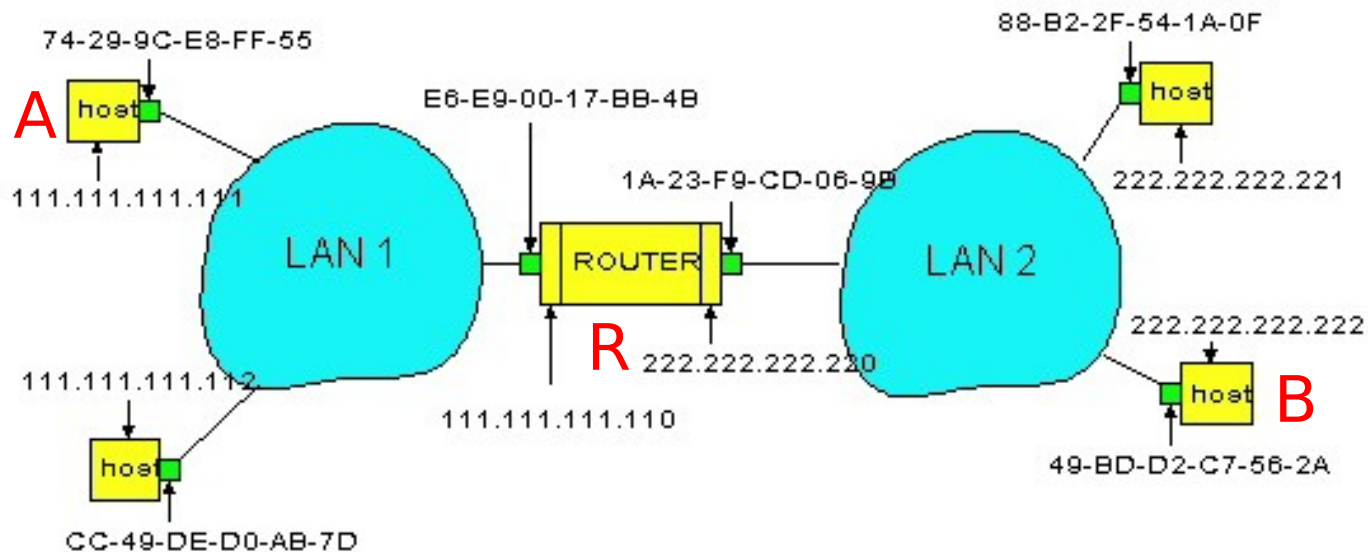
Ruteo a otra LAN

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): Capa Enlace de Datos

- **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**



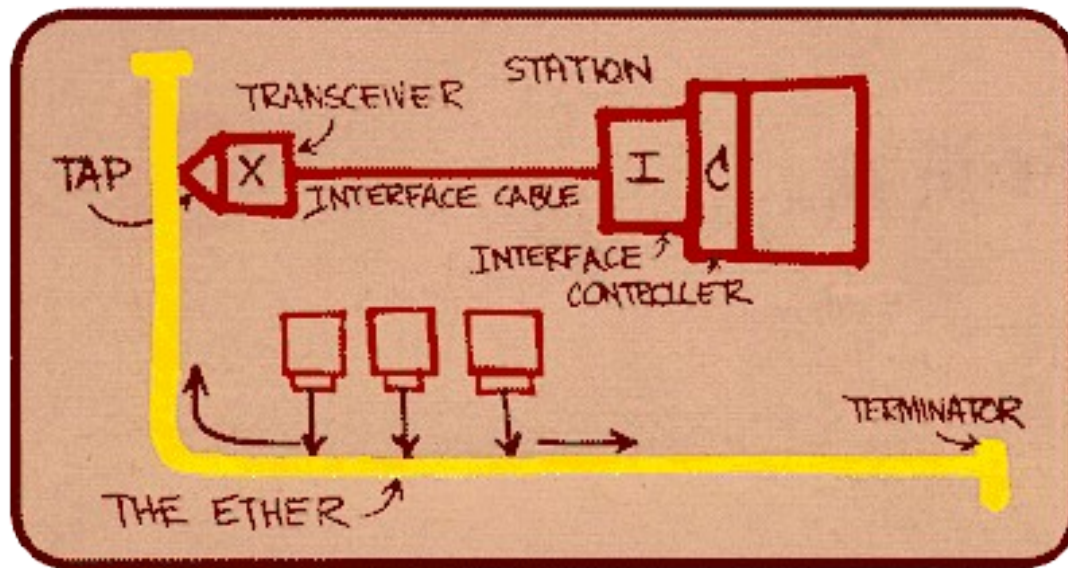
Capa Enlace de Datos

- 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” :

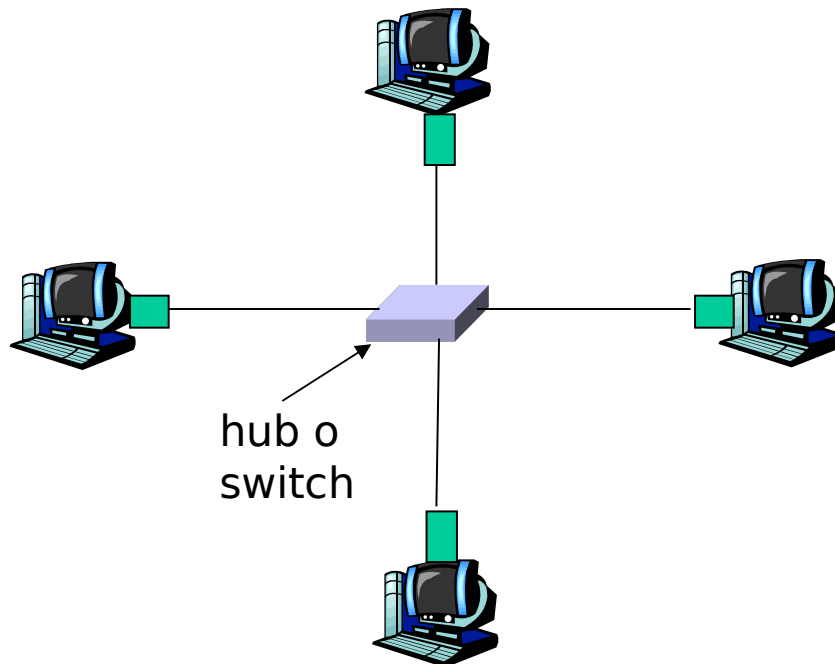
- ▣ Barata!
- ▣ Más simple y barata que LANs con token ring y ATM
- ▣ Avanza en velocidad: 10 Mbps – 10 Gbps



Primer borrador de Metcalfe

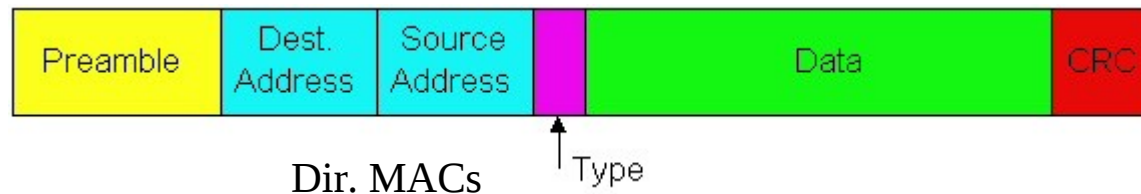
Topología Estrella

- 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

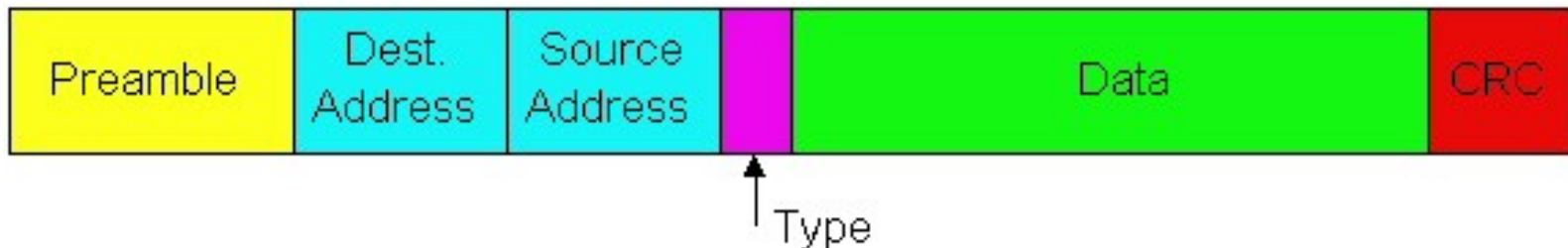


Preámbulo:

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

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.



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.

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

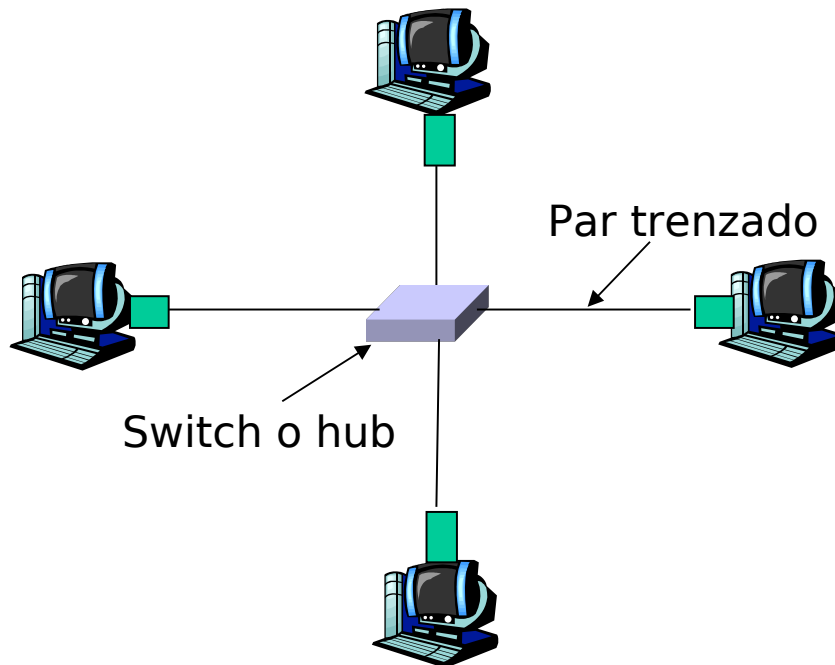
Backoff Exponencial:

- ▢ *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 $\{0,1,2,3,4,\dots,1023\}$

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

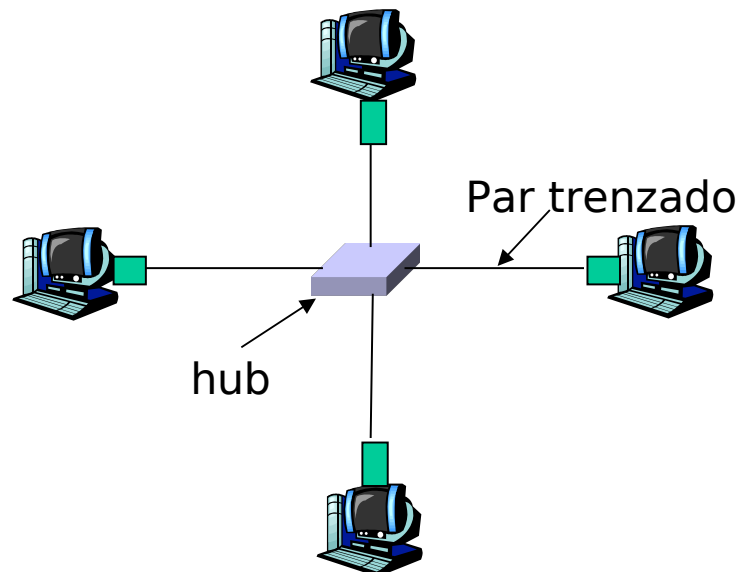
10BaseT y 100BaseT

- ▣ 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.

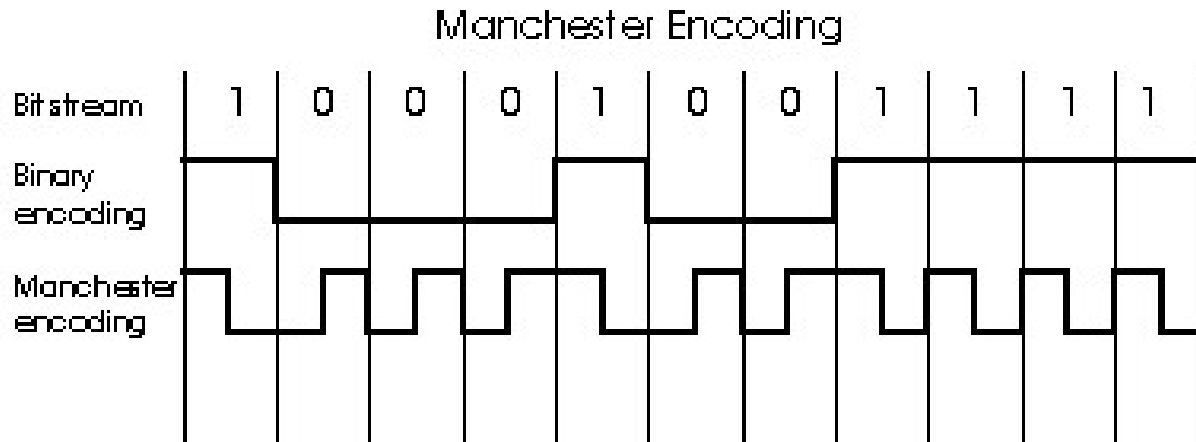


Hubs

- ▢ Hubs son esencialmente repetidores de capa física:
 - ▢ Los bits que ingresan por un enlace salen por TODOS los otros
 - ▢ No 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

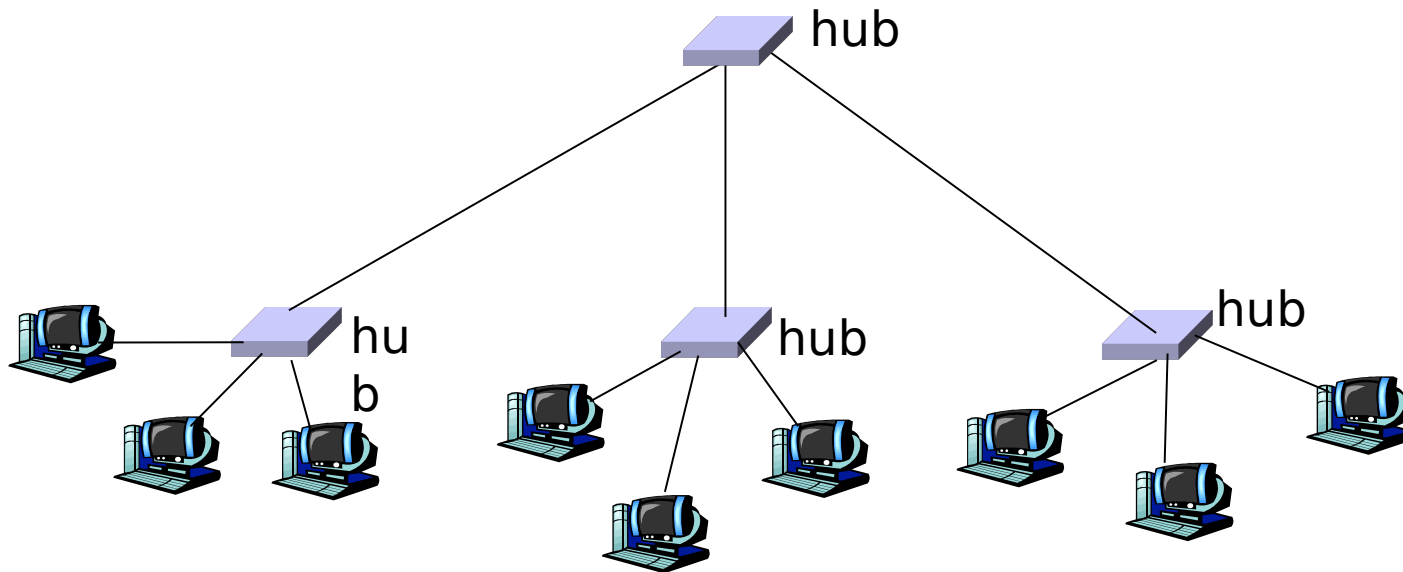
- Usa formato de trama Ethernet estándar
- Permite enlaces punto a punto y vía canales broadcast compartidos
- En modo compartido usa CSMA/CD; se requiere corta distancia entre nodos por eficiencia
- Full-Duplex a 1 Gbps para enlaces punto a punto o usando switches.
- Ahora se cuenta con 10 Gbps !

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
- 5.6 Hubs y switches
- 5.7 PPP
- 5.8 Enlaces Virtuales: ATM y MPLS

Interconexión con hubs

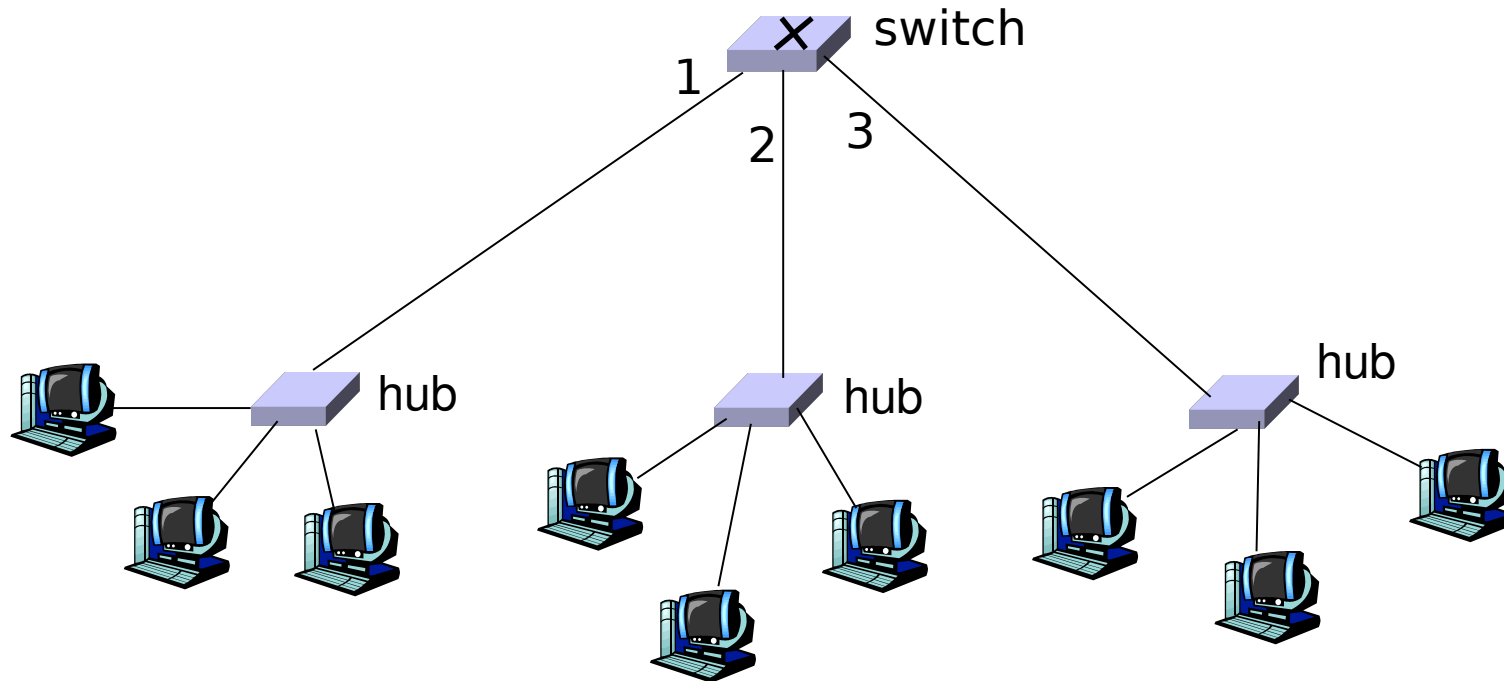
- ▮ Hub de Backbone interconecta segmentos LAN
- ▮ Extiende distancia máxima entre nodos
- ▮ Pero segmentos de colisión individuales se transforman en un gran dominio de colisión
- ▮ No se puede conectar 10BaseT y 100BaseT



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



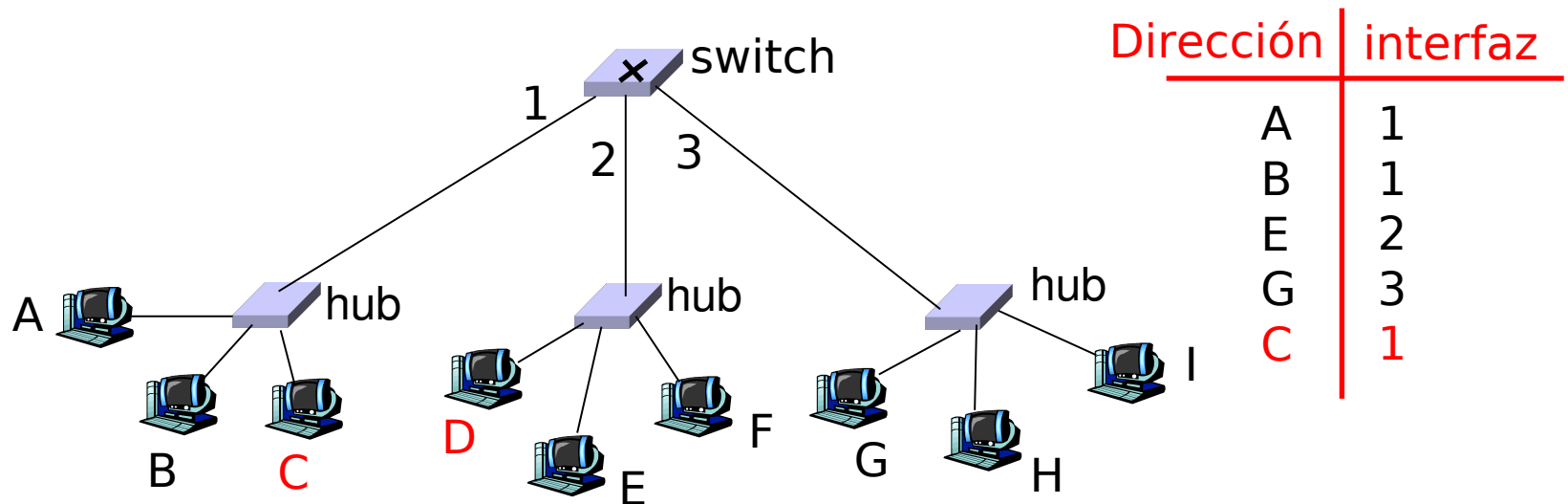
- ¿Cómo determinar en qué segmento LAN enviar la trama?
- Similar a problema de ruteo ...

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 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

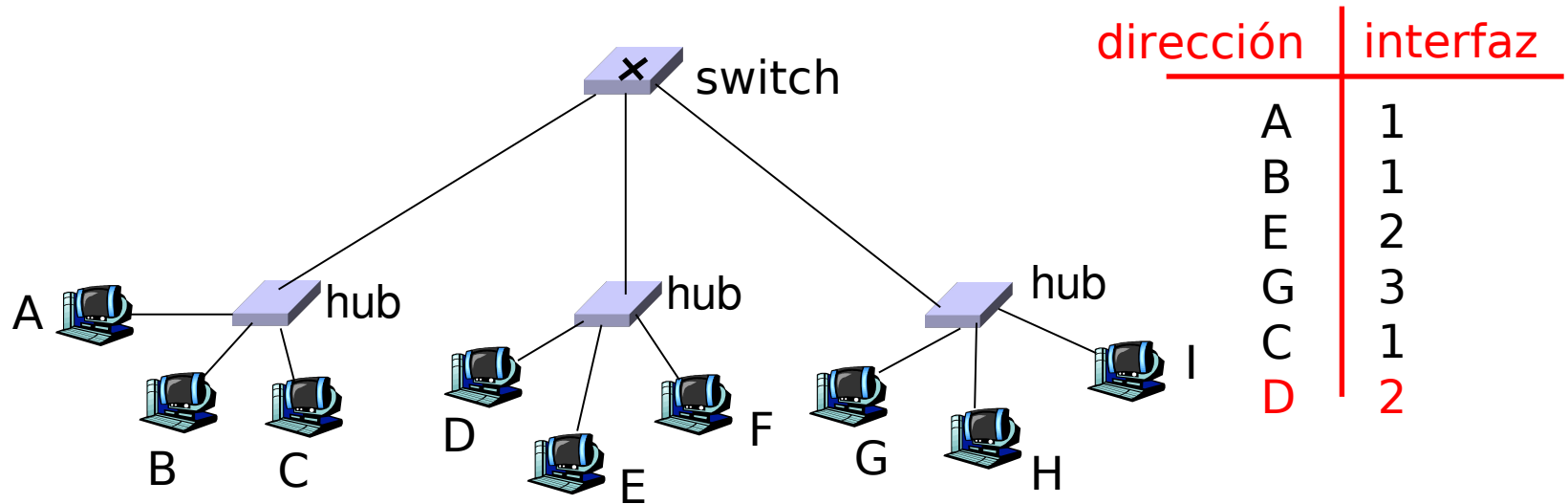
Supongamos que C envía una trama a D



- 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

}

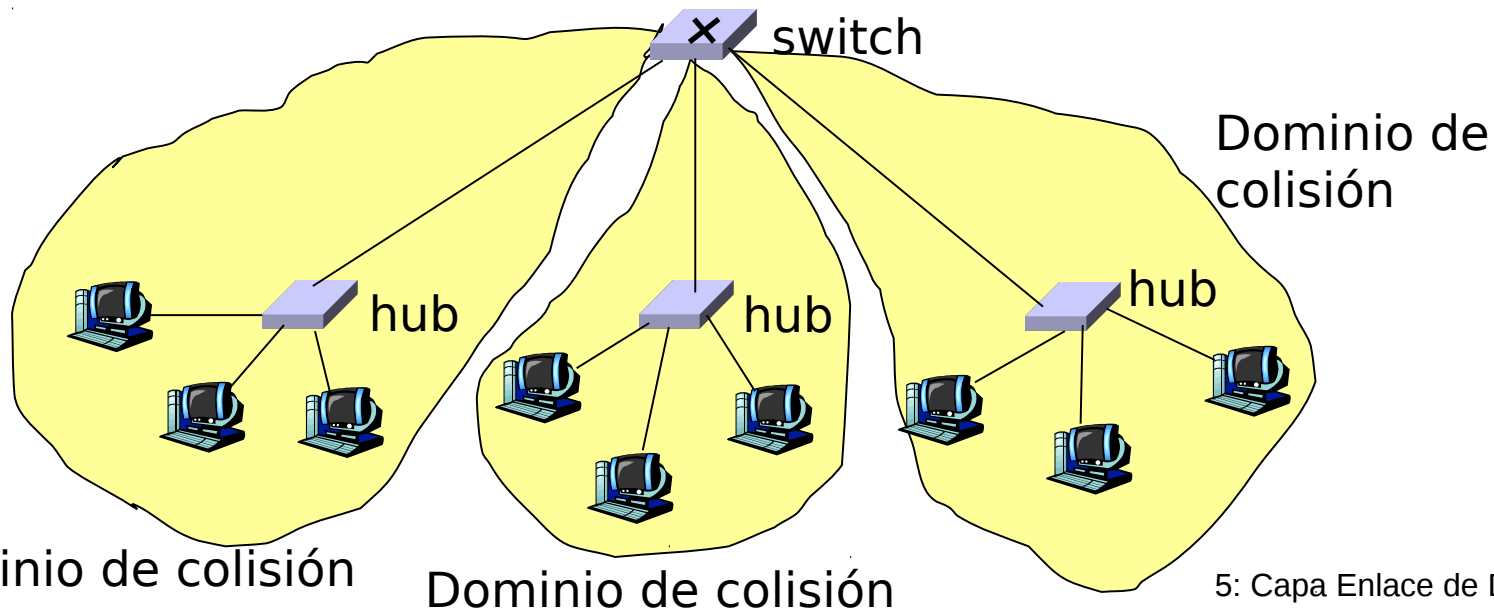
}

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



Switch: Aislamiento de tráfico

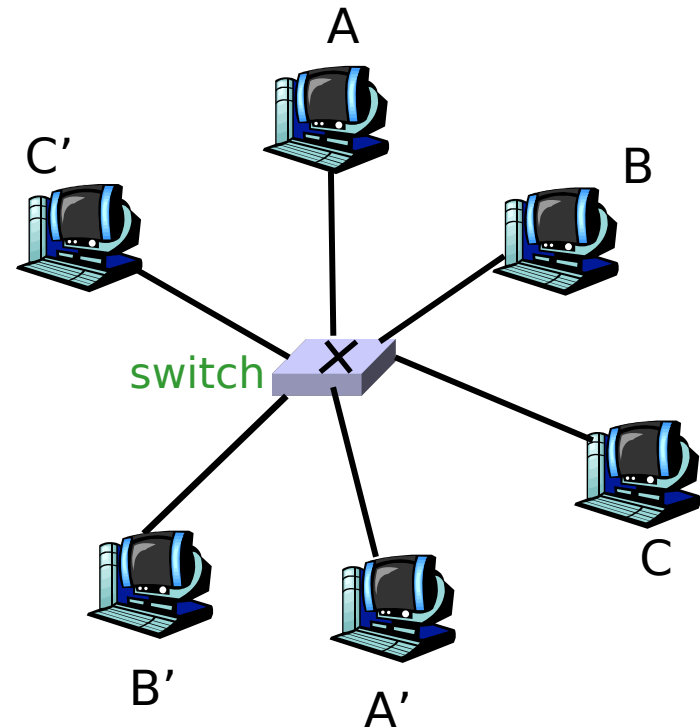
- El uso de un switch **divide la subred en segmentos** de LAN (para efectos de colisiones, por ejemplo)
- El switch **filtra** paquetes:
 - Las tramas de una mismo segmento de la LAN normalmente no son re-enviados a los otros segmentos
 - Los segmentos pasan a ser **dominios de colisión separados**



Switches: accesos dedicados

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

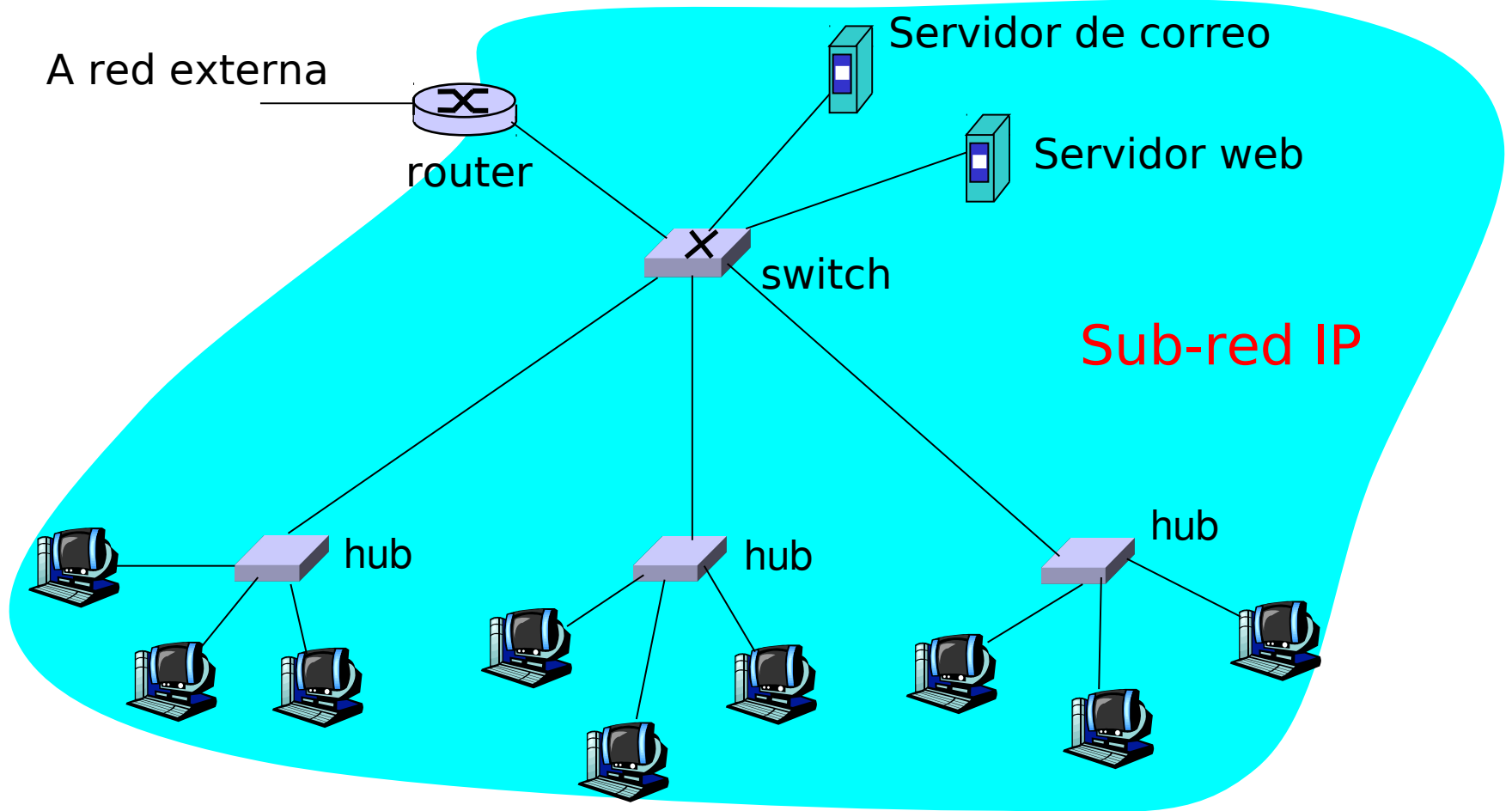
Conmutación: puede haber comunicación A-a-A' y B-a-B' simultáneamente, no hay colisiones



Más sobre Switches

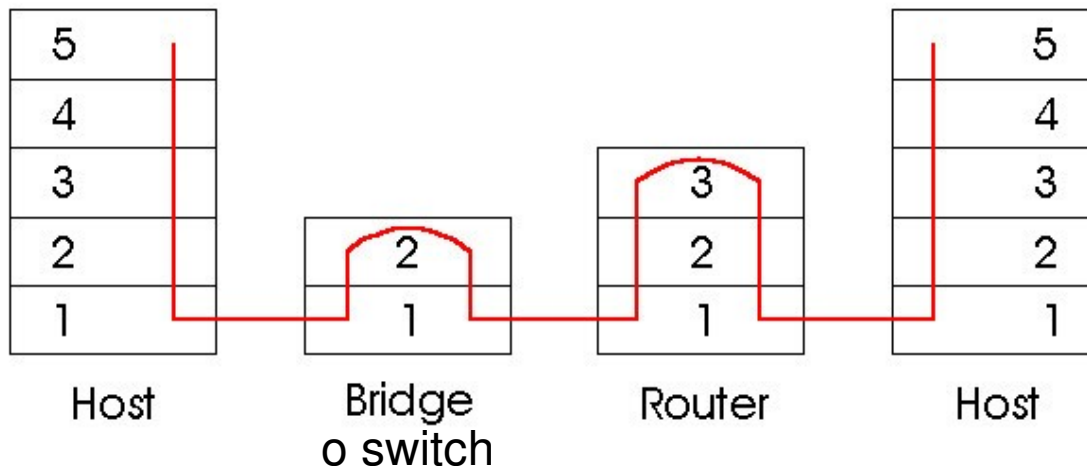
- **Conmutación cut-through (corte camino):** en estos switches las tramas son re-enviadas de la entrada a la salida sin almacenar el paquete completamente
 - Se logra una reducción de latencia (retardo)
- Hay switches con interfaces compartidas o dedicadas de 10/100/1000 Mbps.

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