Capa de enlace y LANs

Protocolos de acceso múltiple

Ethernet

Capa de enlace de datos

- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento en la capa de enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Conmutadores de capa de enlace
- 5.7 Protocolo punto a punto (PPP)
- 5.9 Un día en la vida de una petición de página web

Protocolos de acceso aleatorio

- Cuando un nodo tiene un paquete para transmitir:
  - Transmitir a la tasa de datos máxima R del canal
  - No hay coordinación previa entre nodos
- Dos o más nodos transmitiendo ➜ “colisión”,
- Un protocolo de acceso aleatorio MAC (Medium Access Control) especifica:
  - Cómo detectar colisiones
  - Cómo recuperarse de colisiones (p.e., mediante retransmisiones retardadas)
- Ejemplos de protocolos de acceso aleatorio MAC:
  - ALOHA con particiones
  - ALOHA
  - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

ALOHA con particiones o *ranurado*

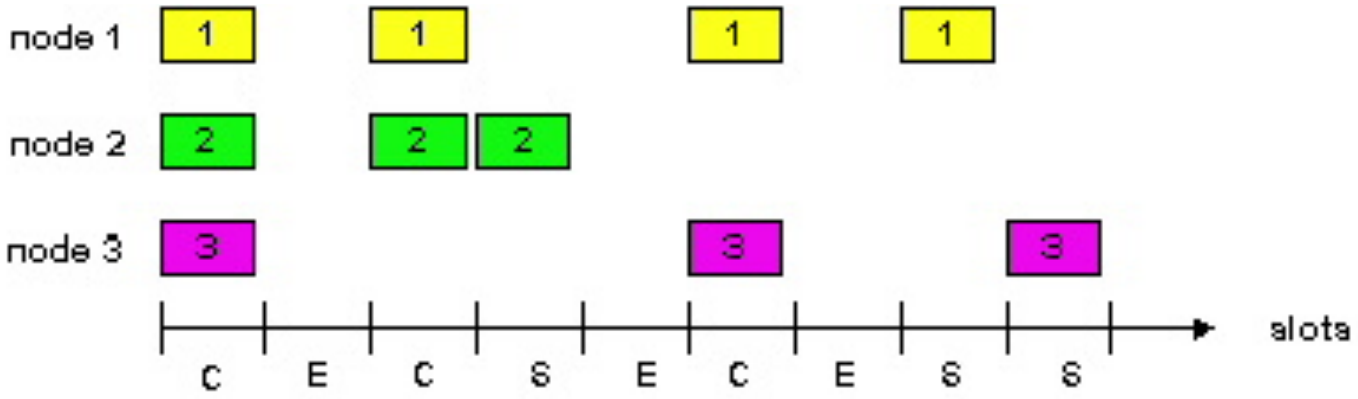
Suponemos:

- Todas las tramas tienen igual tamaño
- Tiempo dividido en ranuras de igual duración (el tiempo necesario para transmitir una trama)
- Los nodos comienzan a transmitir solamente al comienzo de la ranura
- Los nodos están sincronizados
- Si dos o más nodos transmiten en la misma ranura todos los nodos detectan la colisión

Operación:

- Cuando un nodo tiene una nueva trama, espera a la siguiente ranura, transmite toda la trama y escucha mientras transmite
  - *Si no hay colisión:* el nodo puede enviar otra nueva trama en la ranura siguiente
  - *Si hay colisión:* el nodo sigue con la transmisión, y retransmite la trama en cada ranura siguiente con probabilidad *p* hasta que lo logra

ALOHA con particiones



Pros

- Un nodo único activo puede continuamente transmitir a la velocidad máxima del canal
- Altamente descentralizado: solamente deben estar sincronizadas las ranuras en los nodos
- Sencillo

Contras

- Colisiones, ranuras desperdiciadas
- Ranuras no utilizadas
- Los nodos sólo pueden detectar la colisión en menos tiempo que el de la transmisión de paquete
- Sincronización de relojes

Eficiencia de ALOHA con particiones

Eficiencia : fracción promedio de ranuras transmitidas con éxito (muchos nodos, todos con muchas tramas que enviar)

- *Suponer:* N nodos con muchas tramas para enviar, cada nodo transmite en la ranura con probabilidad *p*
- Prob de que el nodo tenga éxito en una ranura = $p(1-p)^{N-1}$
- Prob de que *cualquier* nodo tenga éxito = $Np(1-p)^{N-1}$

- Max eficiencia: encontrar la p que hace máximo $Np(1-p)^{N-1}$
- Para muchos nodos, tomando límites de $Np^*(1-p^*)^{N-1}$ cuando N tiende a infinito:

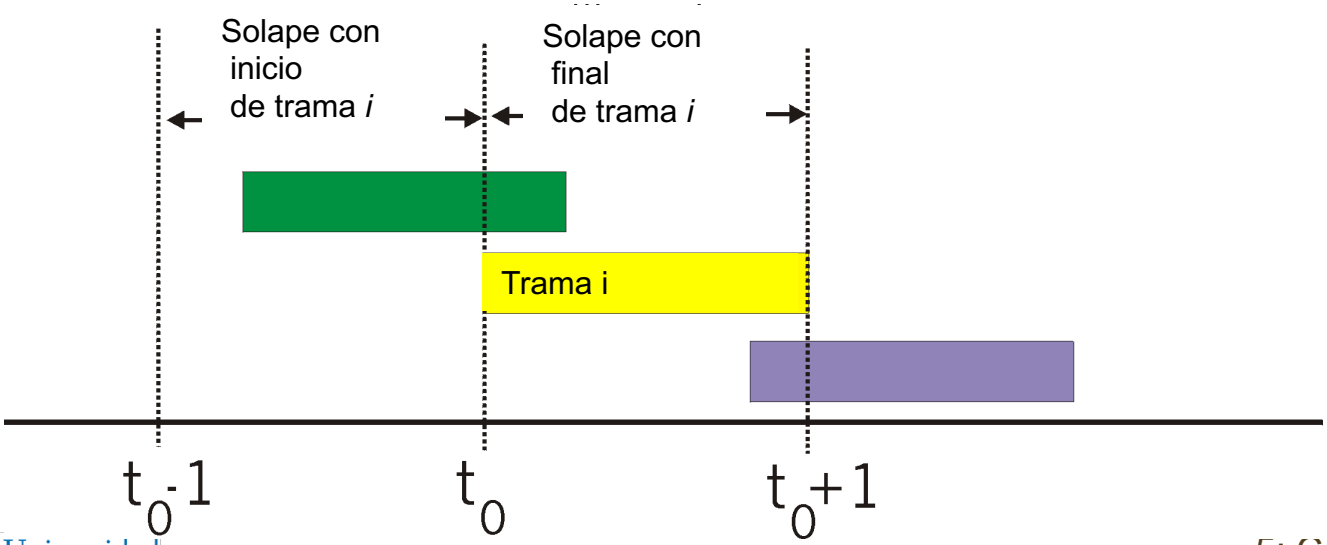
Max eficiencia = 1/e = 0.37

Como máximo: ¡El canal es utilizado para transmisiones efectivas el 37% del tiempo!

!

ALOHA puro (sin particiones)

- Aloha sin particiones: más simple, no precisa sincronización
- Cuando el host tiene una trama, la transmite (sin comprobar si alguien está transmitiendo)
- La probabilidad de colisión aumenta:
  - Trama enviada en t_0 colisiona con otras tramas enviadas en $[t_0-1,t_0+1]$



Eficiencia de Aloha puro

P(éxito del nodo al transmitir) = P(nodo transmita) ·

P(ningún otro nodo transmita en $[t_0-1,t_0]$ ·

P(ningún otro nodo transmita en $[t_0, t_0+1]$

$= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1}$

$= p \cdot (1-p)^{2(N-1)}$

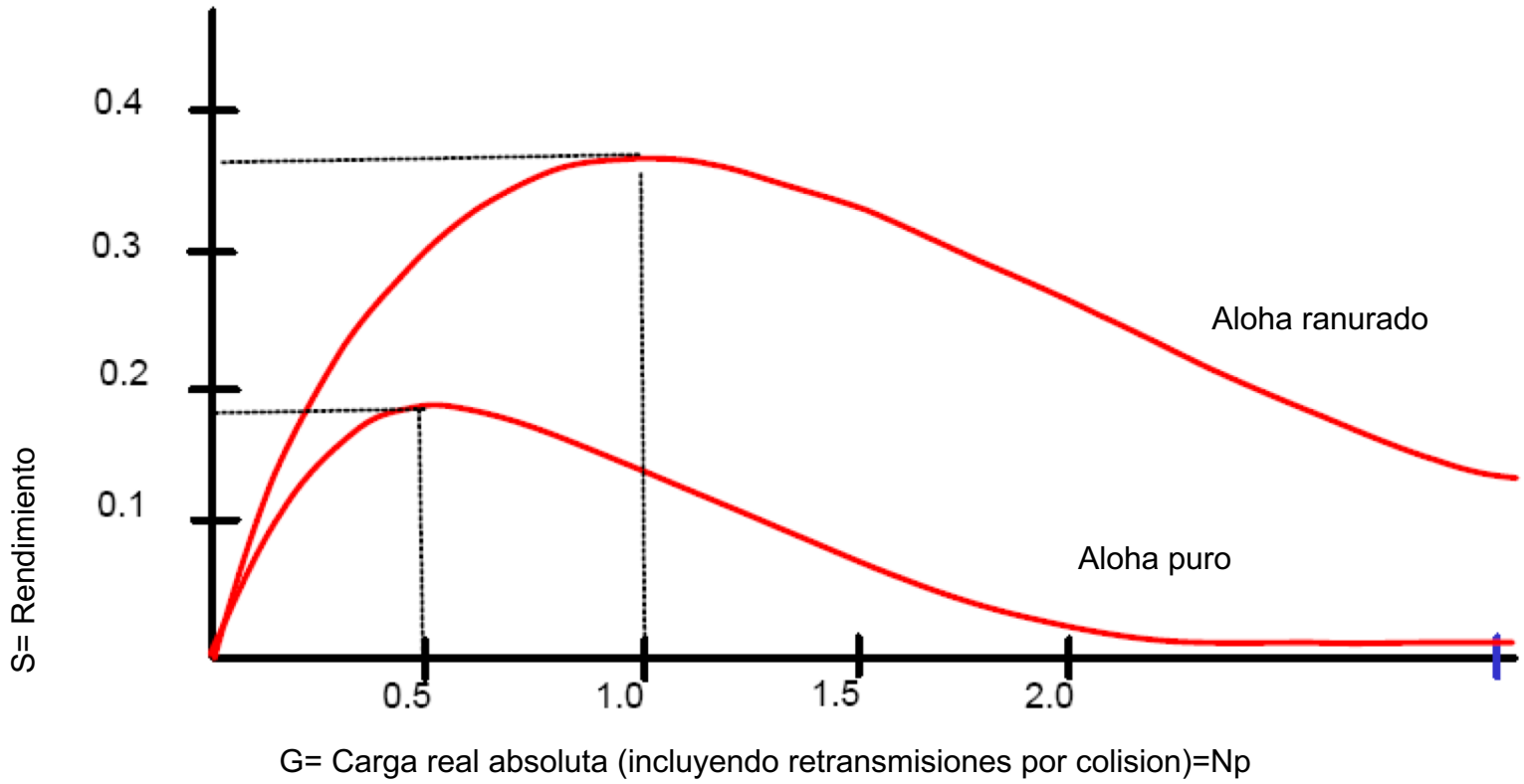
… eligiendo la *p* óptima y luego haciendo *N* -> infinito...

$= 1/(2e) = 0.18$

¡Peor aún que Aloha con particiones!

A pesar de ello, ambos protocolos los encontraremos muchas veces…

Eficiencia de Aloha versus Aloha con particiones



Sistemas con detección de portadora

- Se han utilizado en redes de área local hasta la aparición de los switches o conmutadores
  - Con los switches, no tendremos colisiones…
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
  - Escuchan el canal y no transmiten si esta ocupado
  - Puede haber colisiones debido al tiempo de propagación
- CSMA/CD (Collision Detection)
  - Si detectan colisión, cortan la transmision
- En ambos casos, si hay colisión se reintenta la transmisión al cabo de un $T_{aleatorio}$

CSMA: colisiones

Pueden áun producirse colisiones:

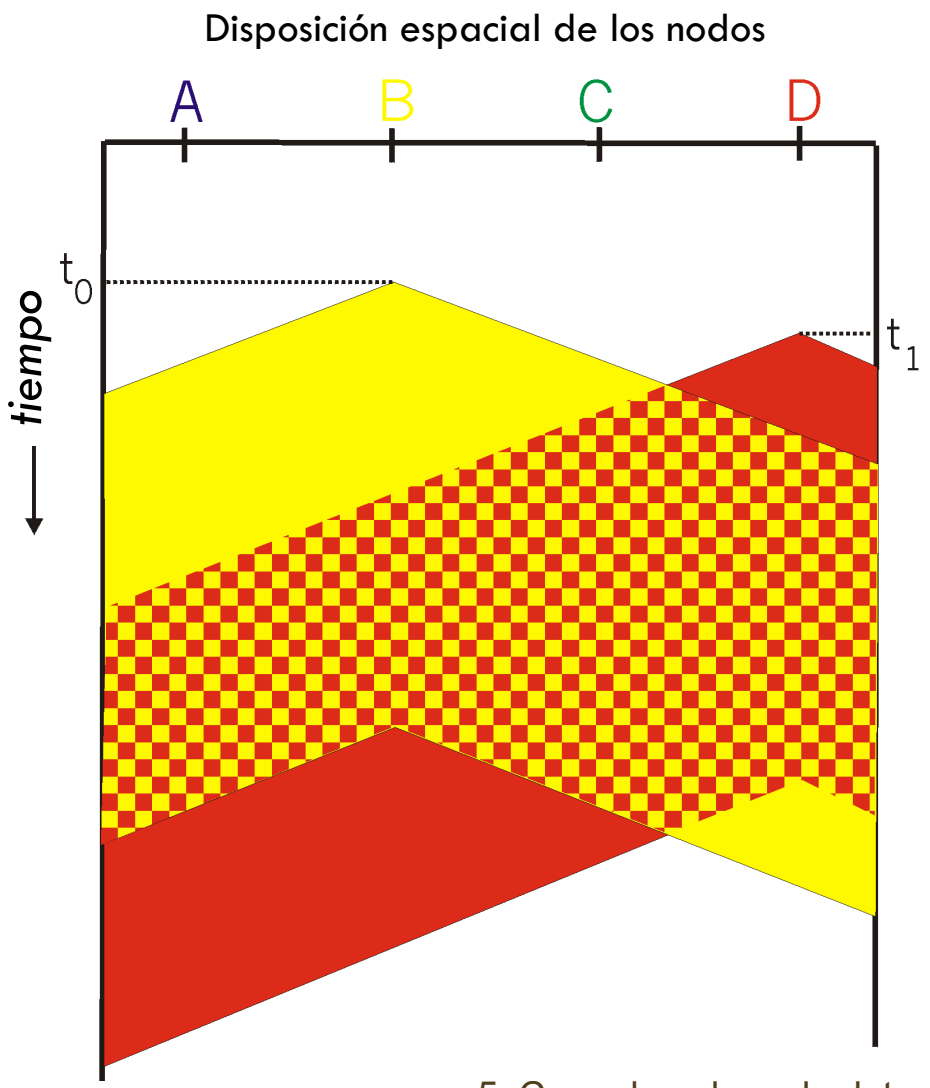
El retardo de propagación implica que dos nodos pueden no oír sus transmisiones respectivas

Fijarse en:

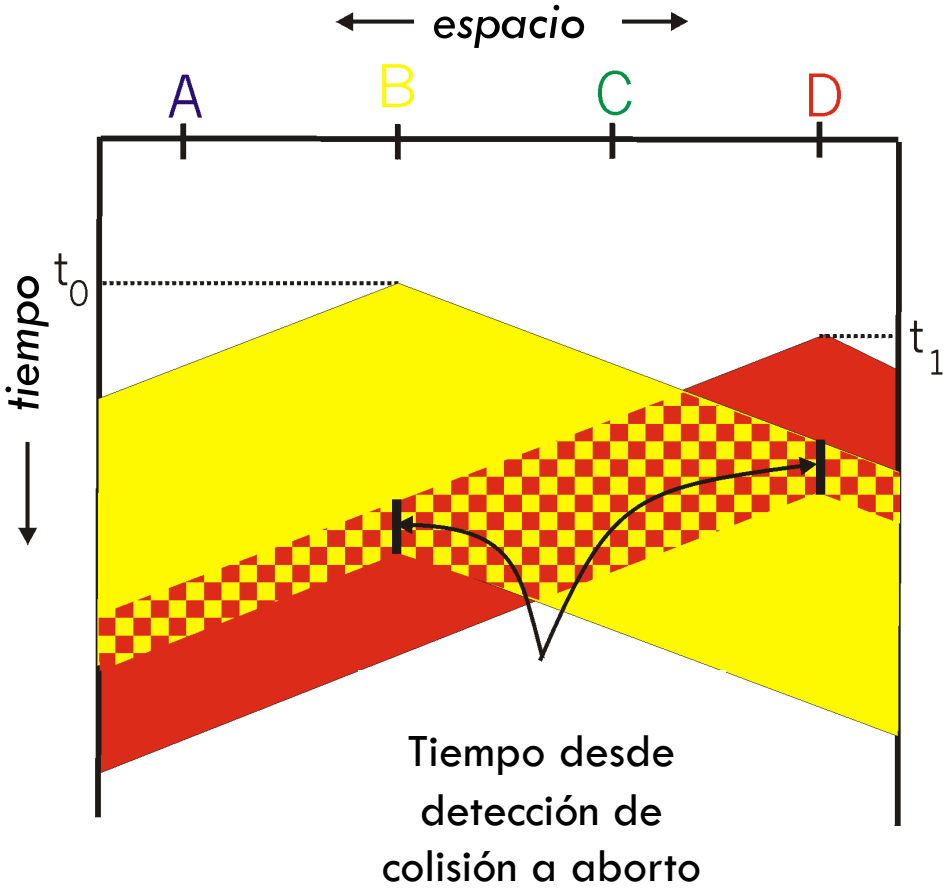
El papel que juegan la distancia y el retardo de propagación para determinar la probabilidad de colisión

Colisión:

Todo el tiempo de transmisión del paquete se desperdicia



CSMA/CD detección de colisión



Protocolos MAC de toma de turnos

Protocolos MAC de particionado del canal

- Comparten el canal *eficientemente* y *equitativamente* con carga alta
- Ineficientes en baja carga: retardo en el canal de acceso. ¡Se asigna un ancho de banda 1/N aunque solamente haya un nodo activo!

Protocolos MAC de acceso aleatorio

- Eficientes en baja carga: un único nodo puede utilizar completamente el canal
- Alta carga: sobrecarga alta por colisiones

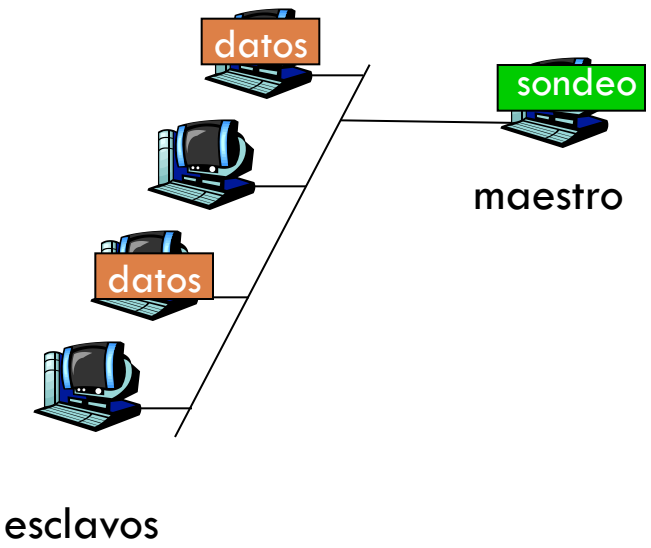
Protocolos de “toma de turnos”

¡Buscan lo mejor de ambos!

Protocolos MAC de “Toma de turnos”

Sondeo (*polling*):

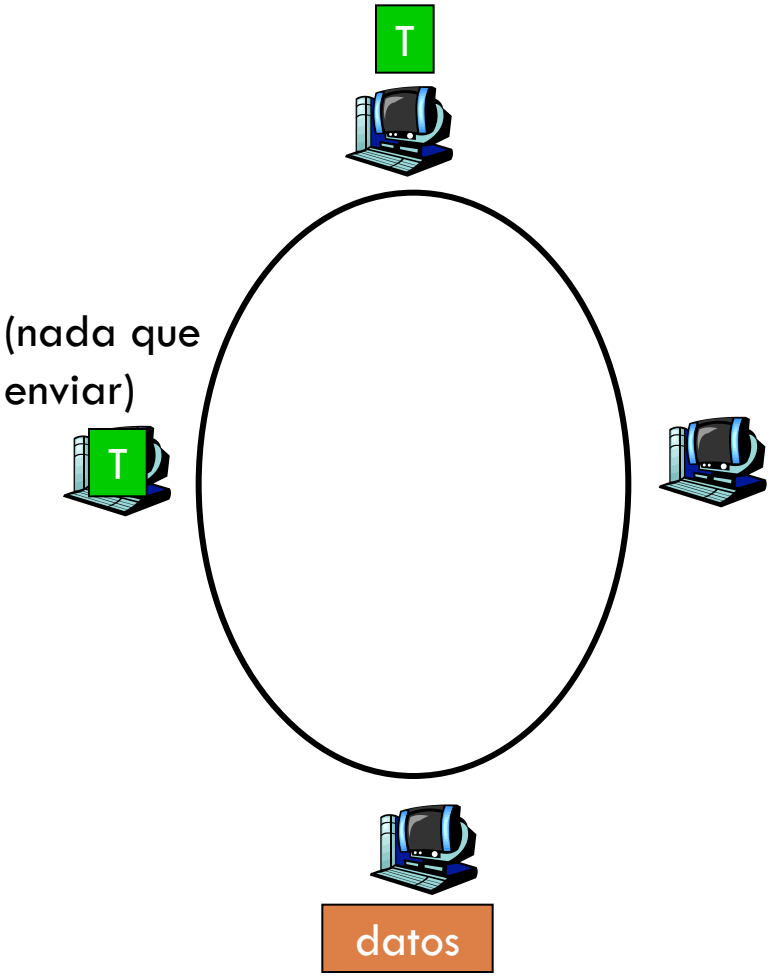
- El nodo maestro invita a los nodos esclavos a transmitir por turnos
- Típicamente usado con dispositivos “tontos” esclavos
- Problemas:
  - Sobrecarga del sondeo
  - Latencia
  - Punto único de fallo (nodo maestro)



Protocolos MAC de “Toma de turnos”

Paso de testigo:

- Se pasa un **testigo** secuencialmente de un nodo al siguiente
- Mensaje testigo para tx
- Problemas:
  - Transmitir el testigo baja el rendimiento
  - Latencia
  - Punto único de fallo (testigo)



Resumen de protocolos MAC

- *De particionamiento del canal,* en tiempo, frecuencia o código
  - División en el Tiempo, División en Frecuencia
- *De acceso aleatorio* (dinámico),
  - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
  - Detección de portadora: sencillo en algunas tecnologías (cableadas), difícil en otras (inalámbricas)
  - CSMA/CA se usa en 802.11 (Wi-Fi)
- *De toma de turnos*
  - Sondeo desde sitio central, paso de testigo
  - Bluetooth, FDDI, IBM Token Ring (paso de testigo en anillo)

Cuestiones de repaso

- P5. En la sección 5.3 hemos enumerado cuatro características deseables de un canal de difusión. ¿Cuáles de estas características presenta el protocolo ALOHA con particiones (ranurado)?. ¿Cuáles de estas características presentan los protocolos de paso de testigo?
- P6. Describa los protocolos de sondeo y paso de testigo utilizando la analogía de las interacciones de las personas que asisten a un cóctel.
- P7. ¿Por qué el protocolo Token-Ring resulta ineficiente si una red LAN tiene un perímetro muy grande?

Capa de enlace

- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento en la capa de enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Conmutadores de capa de enlace
- 5.7 PPP
- 5.9 Un día en la vida de una petición de página web

Ethernet – Un poco de historia

Tecnología dominante en LANs cableadas (Tambien en MAN y WAN):

- La más barata y rápida
- Primera tecnologia LAN utilizada ampliamente
- Más simple y barata que LANs de Token Ring y Token Bus y ATM
- Ha incrementado su velocidad mucho: 10 Mbps – 100 Gbps…
- Manteniendo a la vez su compatibilidad con los equipos existentes

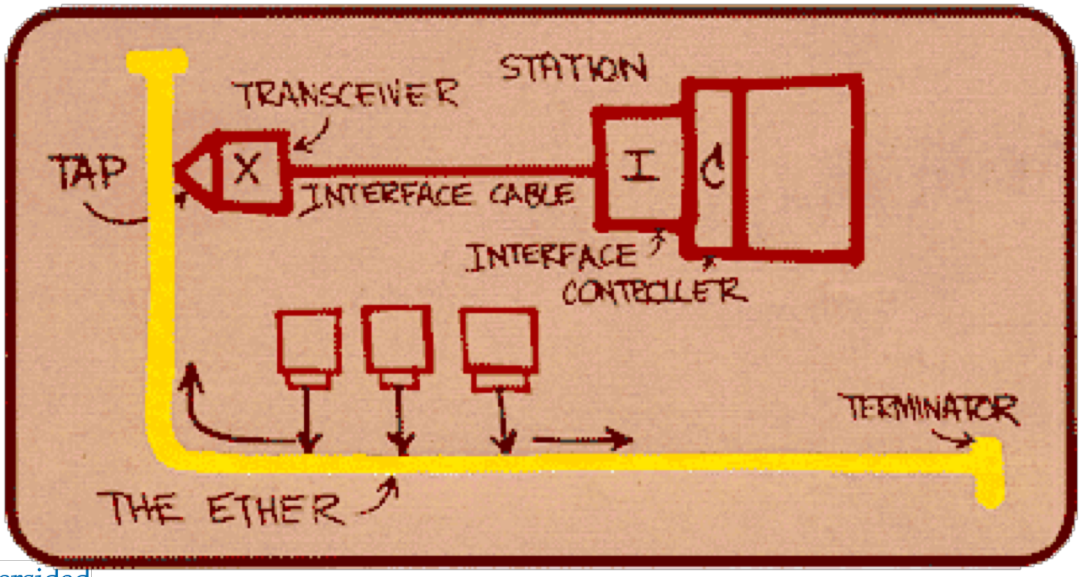
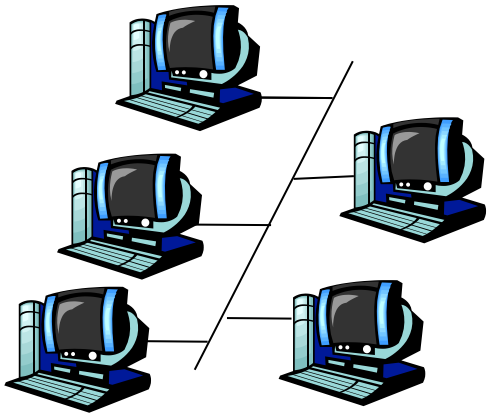


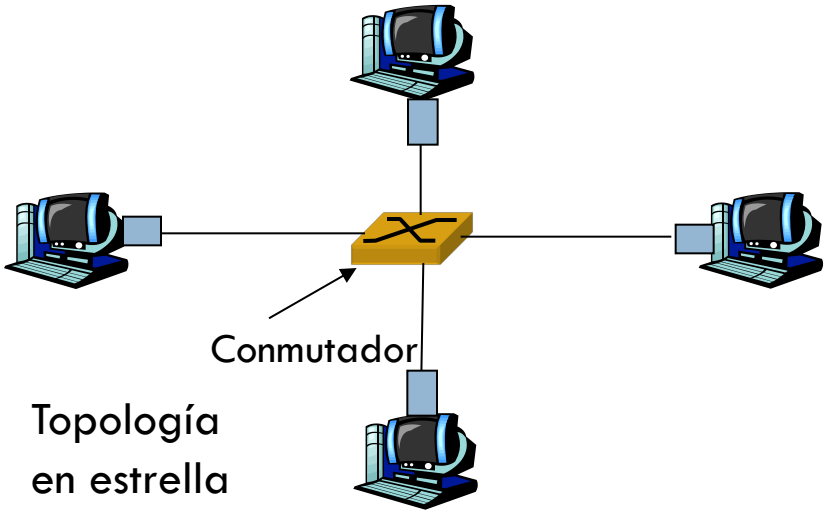
Diagrama de Ethernet realizado por Robert Metcalfe

Topología en estrella

- Topología de bus popular a mediados de los 90
  - Todos los nodos comparten el mismo dominio de colisión (pueden colisionar entre sí)
  - No fiable
- Hoy: predomina la topología en estrella
  - *Conmutador (switch)* activo en el centro
  - Cada enlace (radio de la rueda) ejecuta un protocolo independiente Ethernet (los nodos no colisionan entre sí)



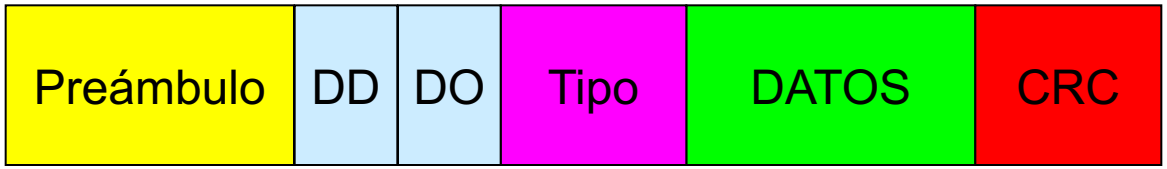
Bus: Cable coaxial



Topología en estrella

Estructura de trama Ethernet

El adaptador de red que envía encapsula el datagrama IP (u o otro protocolo de capa de red) en la Trama Ethernet

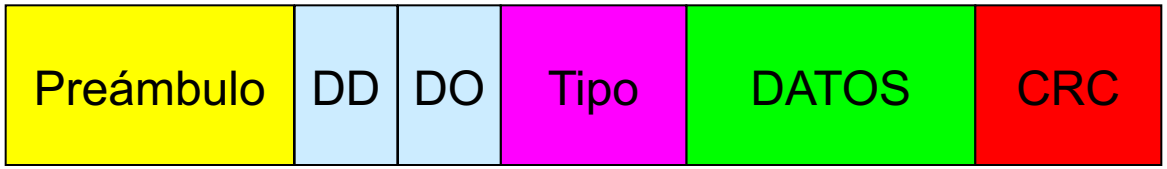


Preámbulo:

- 7 bytes con patrón 10101010 seguidos de un byte con patrón 10101011 (8 bytes en total)
- Se utiliza para sincronizar relojes de los receptores con el del transmisor

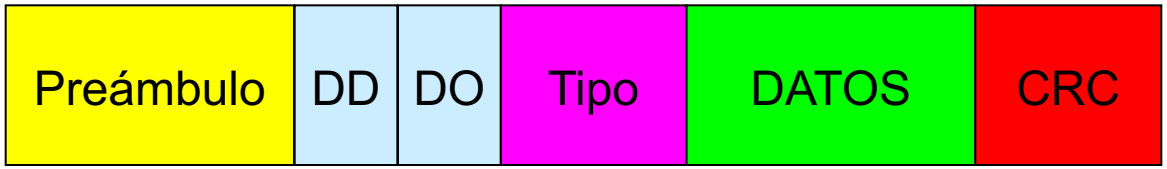
Estructura de trama Ethernet

- Direcciones: 6 bytes
  - Si el adaptador recibe una trama con dirección destino igual a la suya, o con la dirección de difusión (broadcast) o multicast, pasa los datos de la trama al protocolo de capa superior (IP, ARP…)
  - En los demás casos el adaptador descarta la trama
- Tipo: indica el protocolo de capa superior (mayoritariamente IP, pero otros posibles, p.e.: ARP, Novell IPX, AppleTalk)
- CRC: se comprueba en el receptor, si se detecta error, se descarta la trama



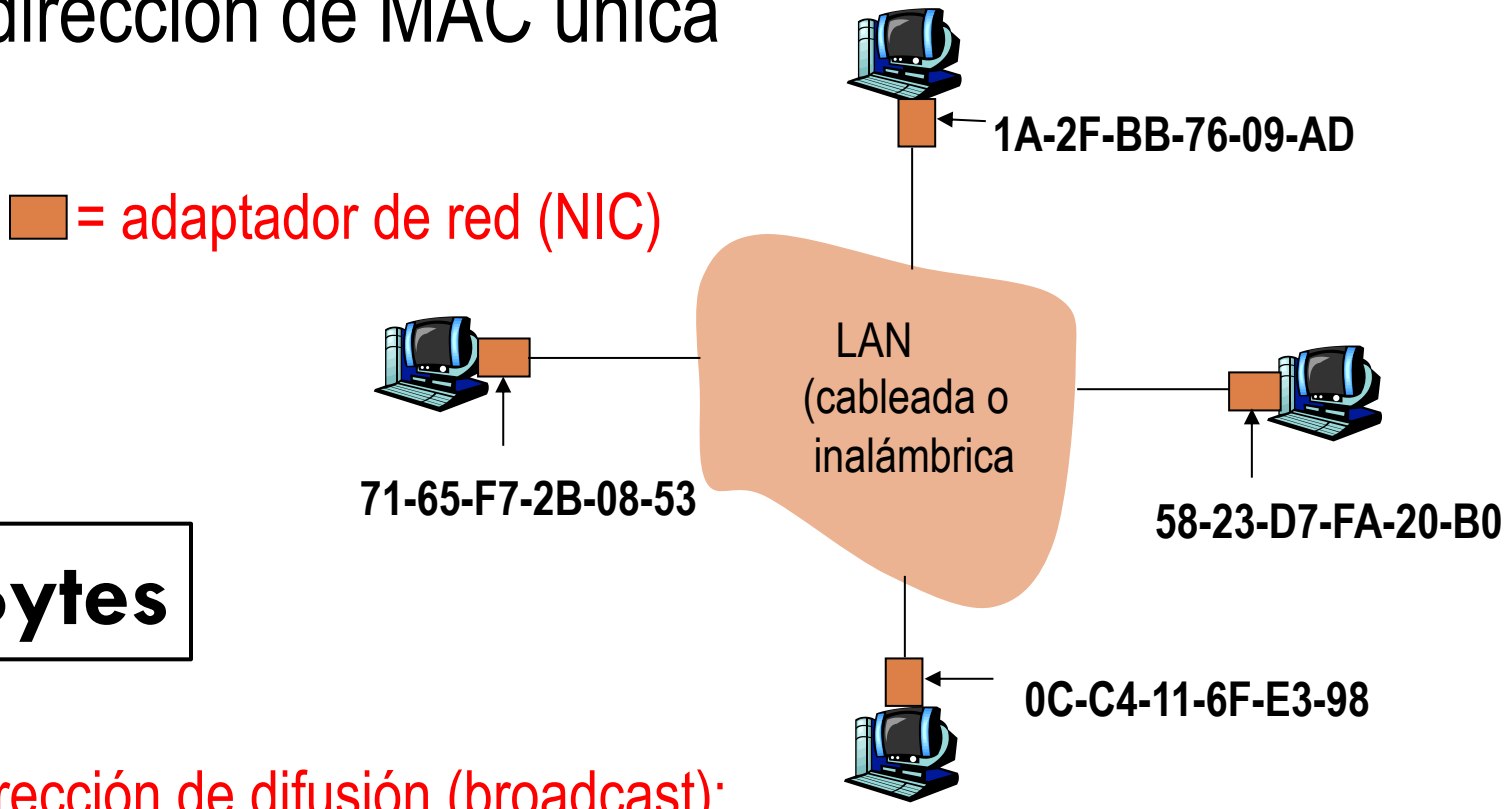
Estructura de trama Ethernet

- Datos: 46 - 1500 bytes
  - Aqui es donde se transporta el datagrama IP
  - La MTU de Ethernet es de 1500 bytes
  - Las tramas deben tener, al menos 64 bytes (sin contar el preambulo), para que las colisiones puedan ser detectadas en cualquier red Ethernet (se mantiene por compatibilidad, aunque ya no hay colisiones…).
  - 6+6+2+46+4 = 64
  - Si queremos transmitir un datagrama que hace que la trama sea menor de 64 bytes: rellenamos con “basura” (Campo “padding”) hasta los 64 bytes.
  - ¿Como sabemos si hay *padding* o no?: por el tamaño del datagrama IP (que está en el propio datagrama)



Direcciones LAN (MAC)

- Cada adaptador de red de la LAN tiene una dirección de MAC única



6 Bytes

Dirección de difusión (broadcast):
FF-FF-FF-FF-FF-FF

Dirección MAC

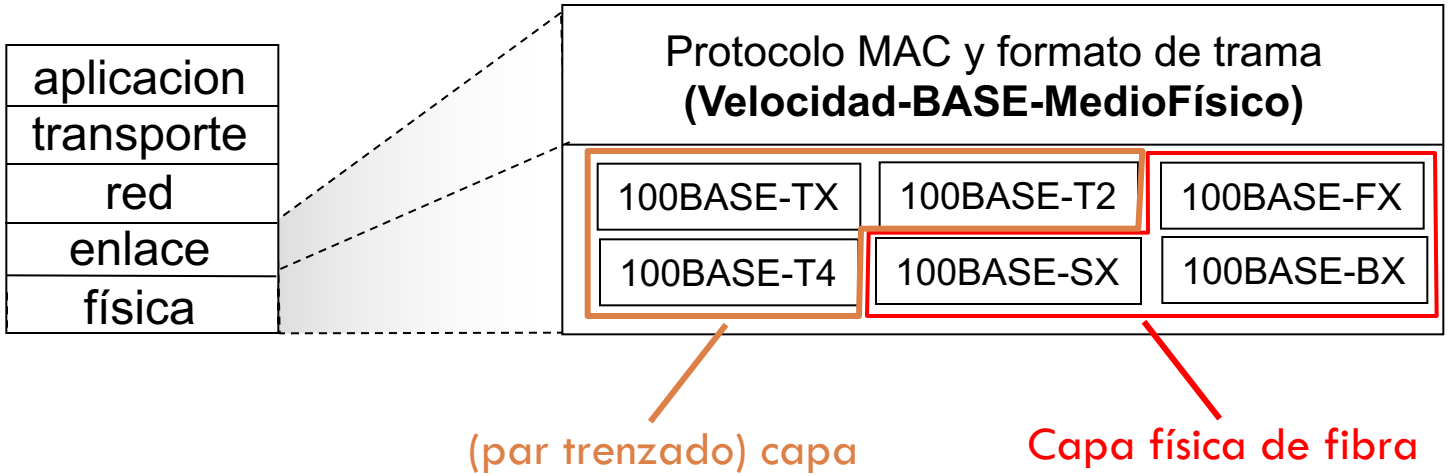
- La asignación de direcciones MAC la realiza el IEEE
- Cada fabricante compra una parte del espacio de direcciones para asegurar unicidad (24 bits fijados por IEEE, 24 bits fijados por cada fabricante)
- Analogía:
  - Dirección MAC: como el DNI
  - Dirección IP: como la dirección postal
- Dirección MAC plana ➜ portabilidad
  - La tarjeta de red (NIC) se puede mover de una LAN a otra
- La dirección IP jerárquica no es portable, depende de la subred IP a la que está conectado el nodo

Ethernet: no fiable, no orientado a conexión

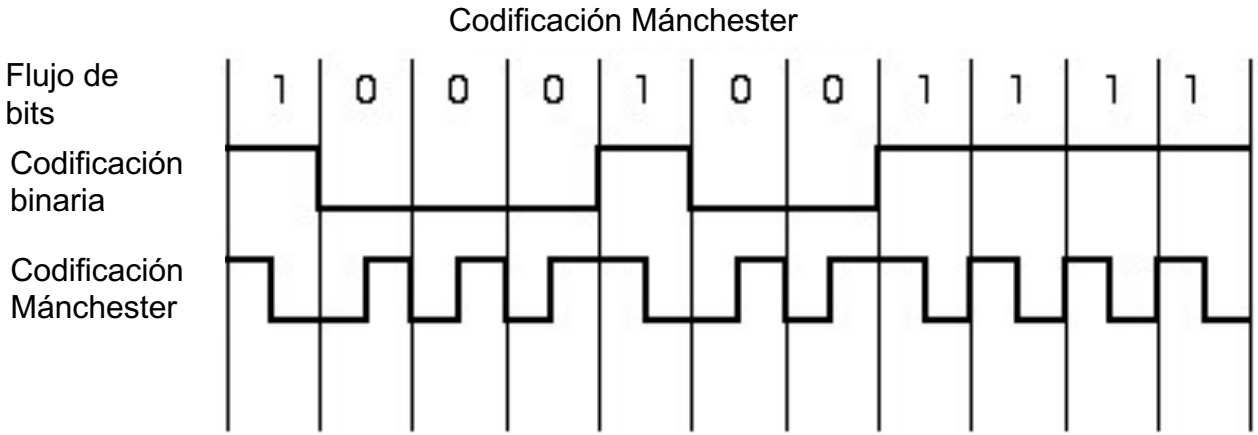
- No orientado a conexión: No hay establecimiento de conexión (*handshaking*) entre los adaptadores de red (Network Interface Card ,NICs) emisor y receptor
- No fiable: el NIC receptor no envía asentimientos acks ni negativos (nacks) al NIC enviador
  - Al flujo de datagramas que se pasa a la capa de red pueden faltarle algunos datagramas
  - Estas faltas se subsanan si la aplicación utiliza TCP
  - De lo contrario, las faltas se manifestarán en la aplicación
- Protocolo MAC Ethernet: CSMA/CD
  - (aunque con Ethernet conmutada, nunca habrá colisiones)

Estándares 802.3 Ethernet: capas física y de enlace

- *Hay muchos* estándares Ethernet diferentes
  - Con el mismo protocolo MAC y formato de trama
  - Distintas velocidades: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1, 10 y 100 Gbps
  - Banda BASE (no se desplaza a otra frecuencia como en ADSL)
  - Distintas capas físicas: fibra, cable (hasta 100 Gbps)



Codificación Manchester



- Usado en 10BaseT
- En cada tiempo de bit tiene una transición de nivel
  - Permite la sincronización de los relojes entre transmisor y receptor sin necesidad de un reloj global centralizado para todos los nodos
  - ¡Estas son cuestiones de la capa física!

Cuestiones de repaso 5.5 Kurose

- Compare las estructuras de trama de Ethernet 10BASE-T, 100BASE-T y Gigabit. ¿En qué se diferencian?
- Suponga que un adaptador a 10 Mbps envía por un canal un flujo infinito de unos (1s) utilizando codificacion Manchester. ¿Cuántas transiciones por segundo tiene la señal de salida del adaptador?

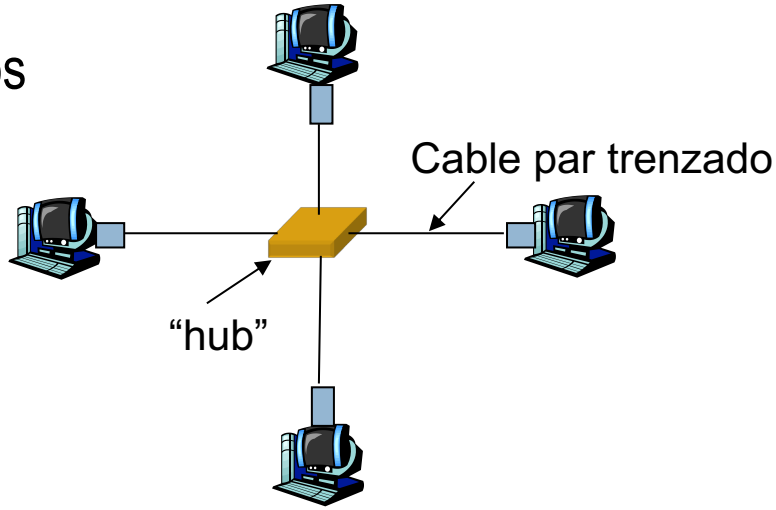
Capa de enlace

- 5.1 Introducción y servicios
- 5.2 Detección y corrección de errores
- 5.3 Protocolos de acceso múltiple
- 5.4 Direccionamiento en la capa de enlace
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Conmutadores de capa de enlace
- 5.7 Protocolo Punto a Punto (PPP)
- 5.9 Un día en la vida de una petición de página web

Concentradores

Son repetidores de capa física (“sin inteligencia”)

- Blindan el bus Ethernet en una caja
- Los bits que llegan a un enlace salen por *todos* los enlaces a la misma velocidad
- Todos los nodos conectados al concentrador pueden colisionar entre sí
- No hay almacenamiento (buffering) de tramas
- No hay CSMA/CD en el concentrador: las NICs de los hosts detectan las colisiones.
- Capacidad de cada puerto = BW/Npuertos
- Ya no se fabrican



Conmutador, Puente (Switch, Bridge)

Dispositivo de capa de enlace (más inteligente que los concentradores, tienen un papel *activo)*

- Almacenar y reenviar tramas Ethernet
- Examinar la dirección MAC de las tramas entrantes, y selectivamente transmitir la trama a uno o más enlaces de salida

- Transparente
  - Los hosts no notan la presencia de los conmutadores
- Autoconfiguración (plug-and-play), autoaprendizaje
- *Permite transmisiones múltiples simultáneas:*
  - Conmutación de A a A' y de B a B' simultáneamente, sin colisiones
    - Imposible con concentradores no inteligentes.
- Capacidad de cada puerto = BW

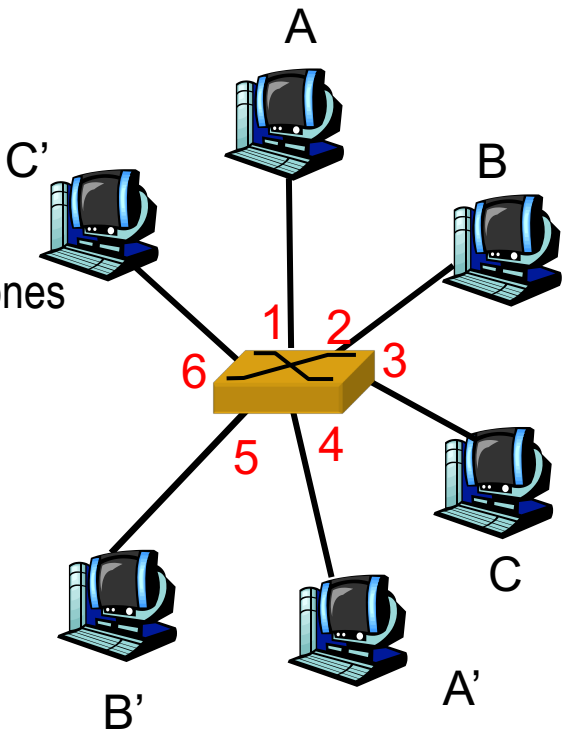
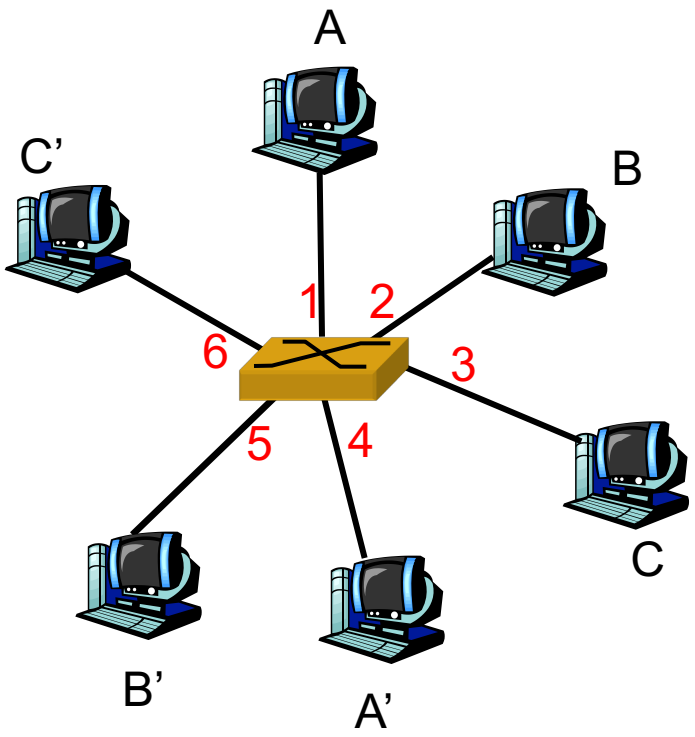


Tabla del Conmutador

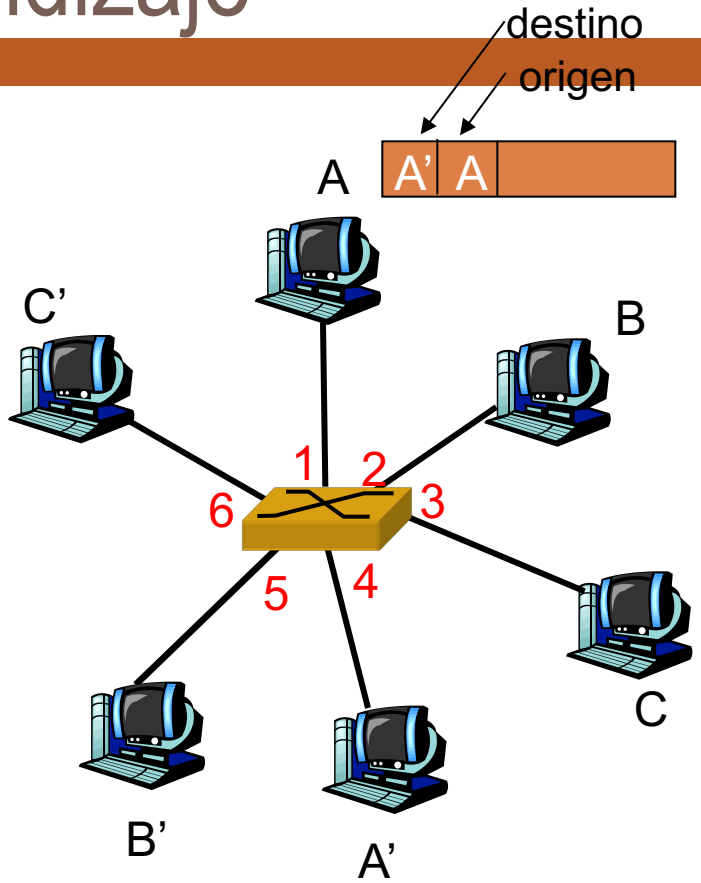
- *P:* ¿Cómo sabe el conmutador que A' es alcanzable por la interfaz 4 y B' alcanzable por la interfaz 5?
- *R:* Cada conmutador tiene una tabla con tuplas:
  - (dirección MAC del host, interfaz para alcanzar el host, marca de tiempo)
  - Similar a una tabla de encaminamiento
- *P:* Cómo se introducen y actualizan las entradas en la tabla del conmutador?
  - ¿Algo parecido a un protocolo de encaminamiento?



conmutador con seis interfaces (1,2,3,4,5,6)

Conmutador: autoaprendizaje

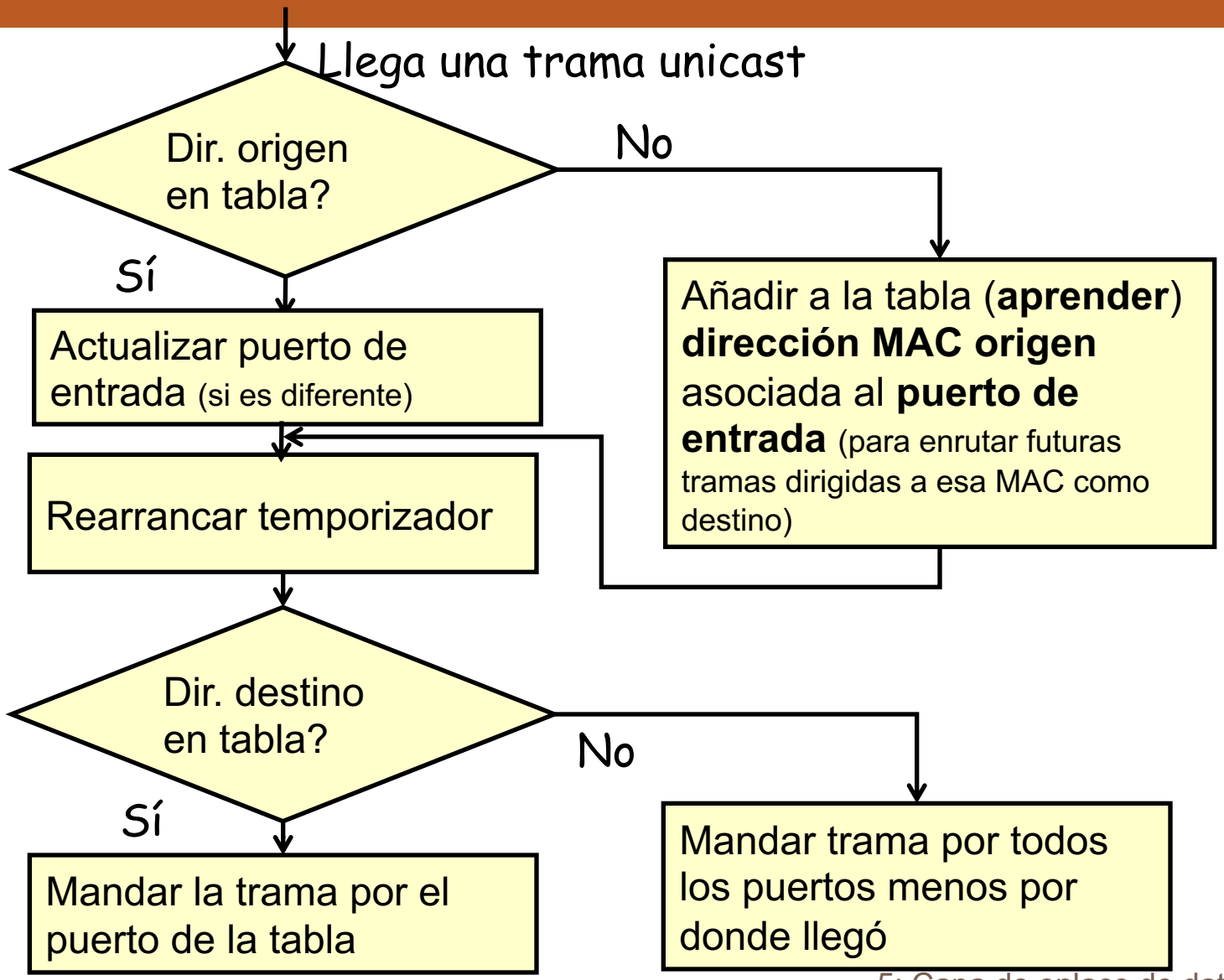
- El conmutador *aprende* qué hosts pueden alcanzarse a través de qué interfaces
  - Cuando se recibe una trama, el conmutador aprende la dirección del transmisor: el segmento LAN de entrada
  - Registra la pareja transmisor/posición (MAC, interfaz) en la tabla del conmutador



MAC dir	Interfaz	TTL
A	1	60

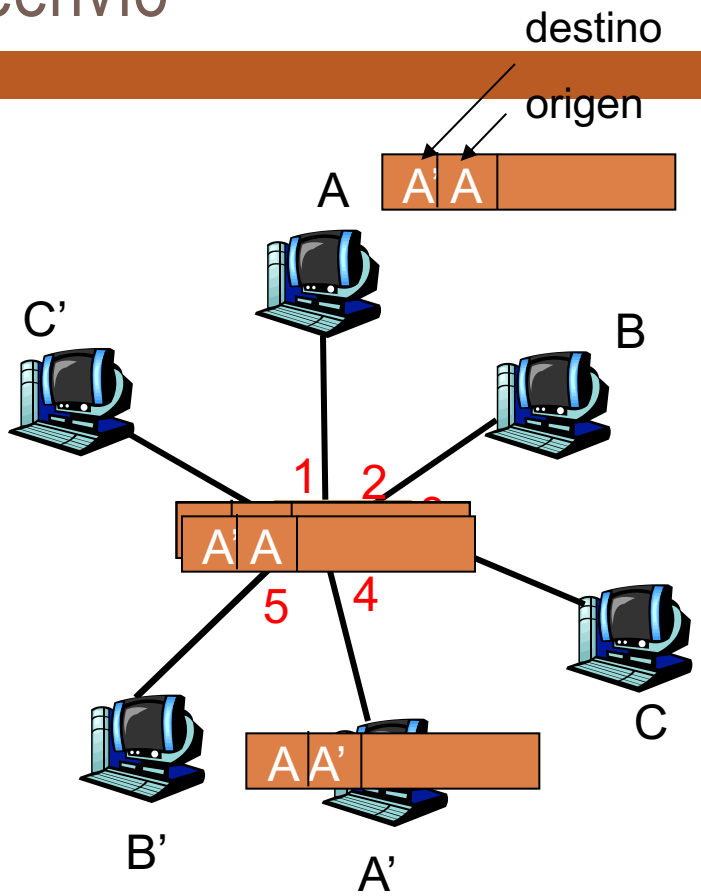
Tabla del conmutador (inicialmente vacía)

Conmutador: filtrado y reenvío de tramas



Ejemplo de Autoaprendizaje y reenvío

- Trama con posición de destino desconocida: Inundar
- Trama con situación de destino A conocida: Envío selectivo

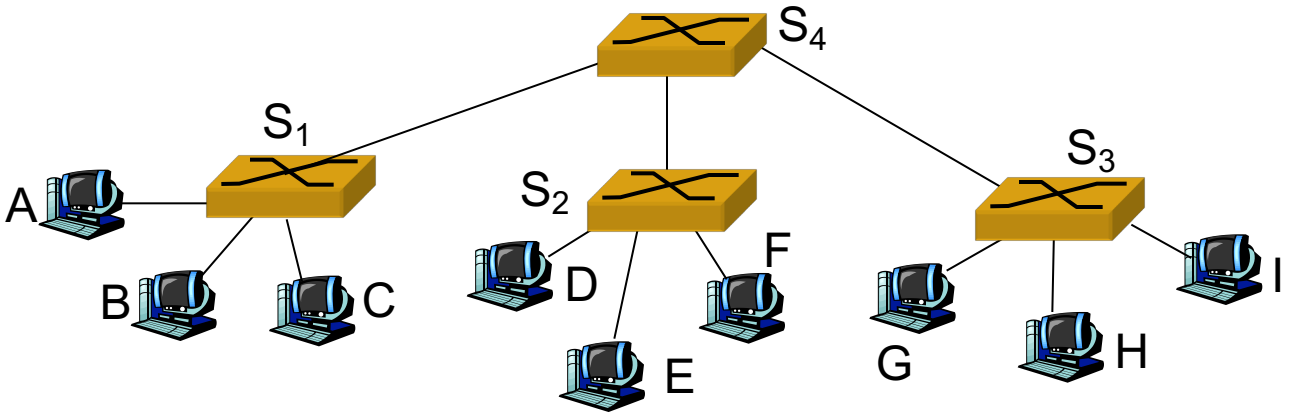


MAC dir	Interfaz	TTL
A	1	60
A'	4	60

Tabla del conmutador (inicialmente vacía)

Interconectando conmutadores

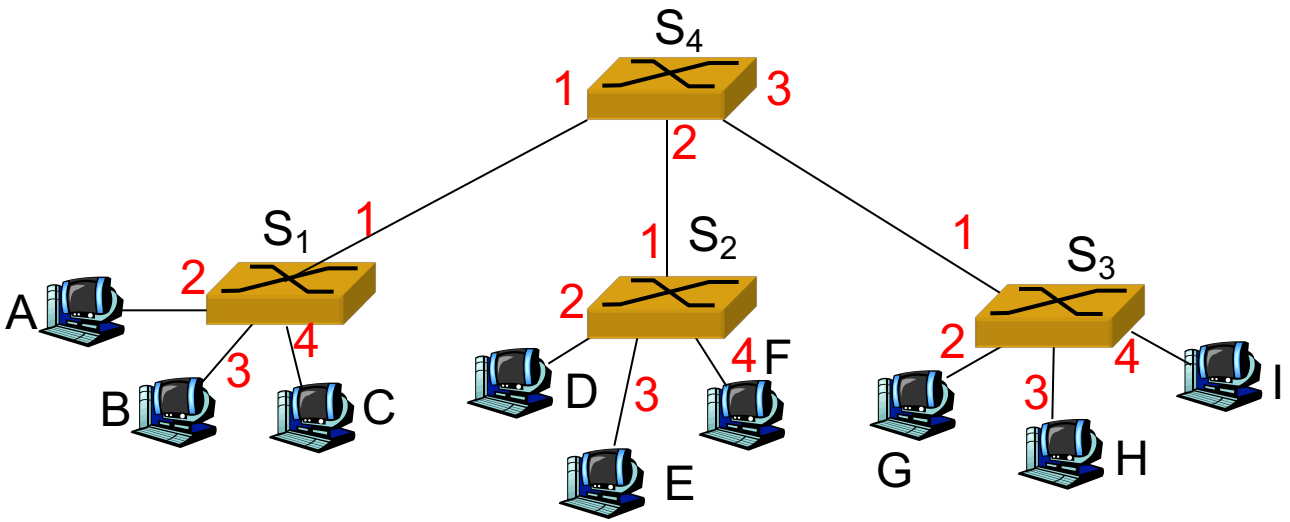
- Los conmutadores pueden conectarse entre sí



- P: enviar de A a G ¿Cómo sabe S_1 enviar la trama destinada a G a través de S_4 y S_3?
- R: ¡Autoaprendiendo! (funciona exactamente igual que en el caso de conmutador único!)

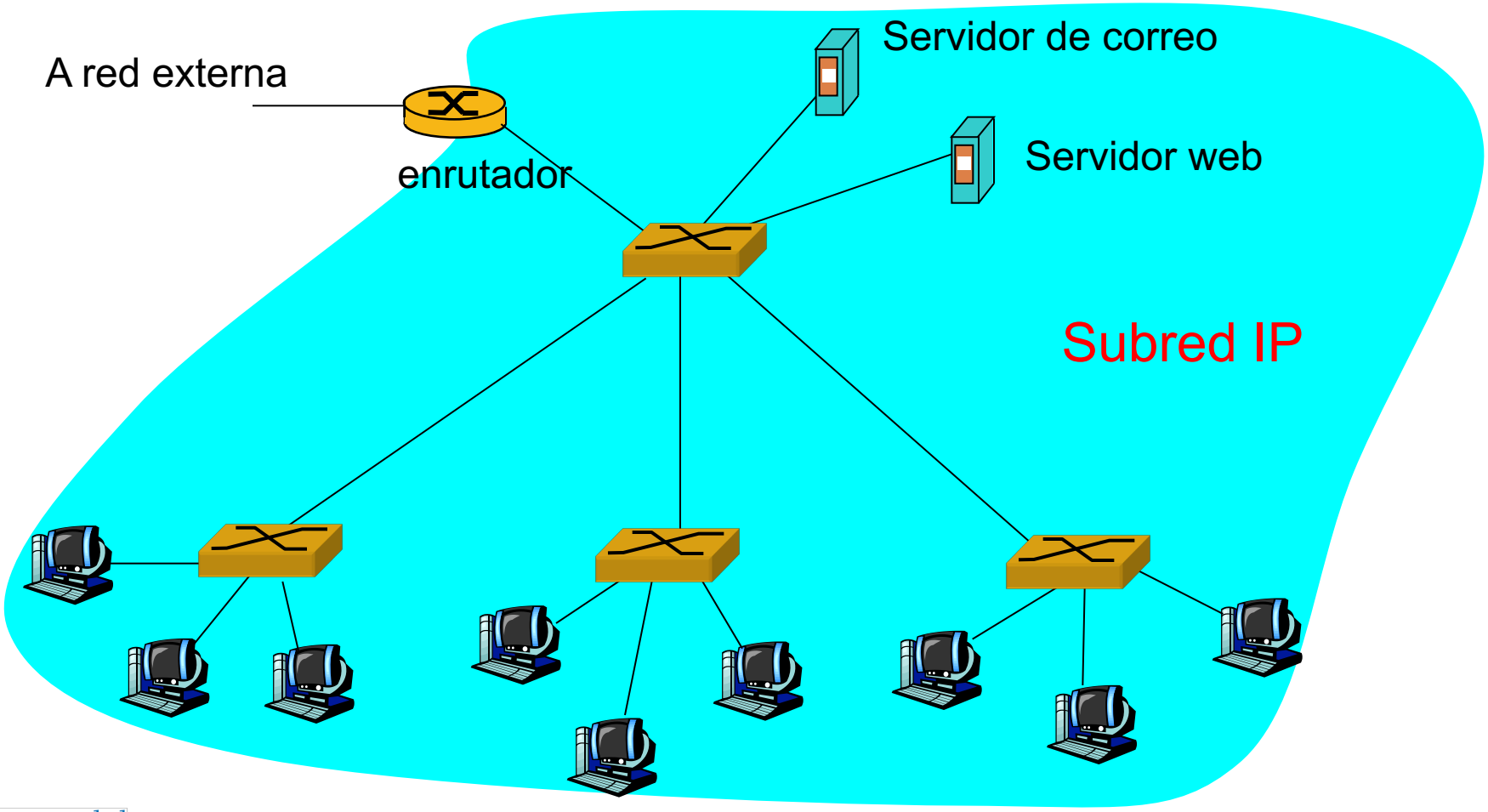
Ejemplo de varios conmutadores con Autoaprendizaje

Supongamos que C envía trama a I, I responde a C



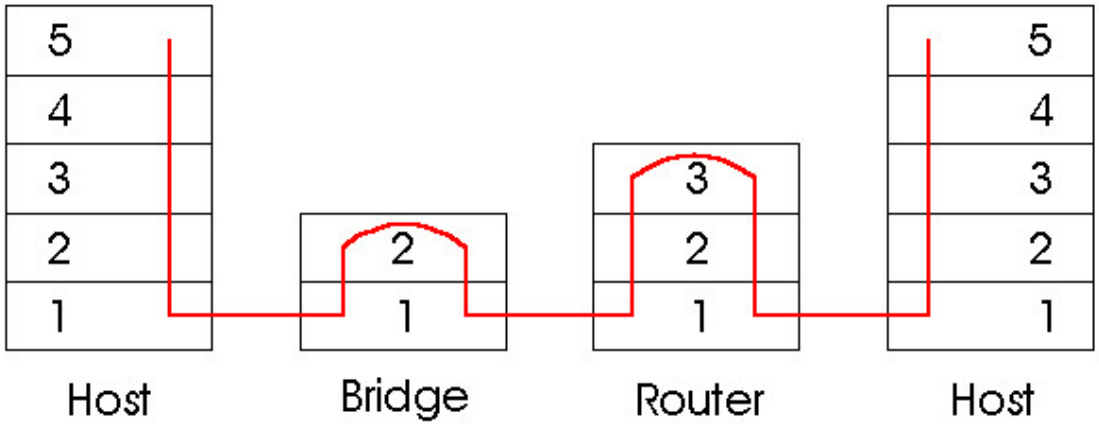
- P: Mostrar las tablas del conmutador y mostrar el reenvío en S_1, S_2, S_3, S_4

Ejemplo: Una Red institucional



Conmutadores frente a enrutadores

- Ambos son dispositivos de almacenamiento y reenvío
  - Enrutadores: dispositivos de capa de red (examinan las cabeceras de capa de red)
  - Los conmutadores son dispositivos de capa de enlace
- Los enrutadores mantienen tablas de encaminamiento, implementan algoritmos de encaminamiento
- Los conmutadores mantienen tablas de conmutación, implementan filtrado de paquetes y algoritmos de aprendizaje



Trabajo personal

- Repasar 5.3.2 a 5.5
- Lectura 5.2 pp. 424-430. Detección y corrección de errores.
- Ejercicios de detección y corrección de errores (con solución numérica)