

# Capítulo 5: Capa Enlace de Datos - I

## 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.

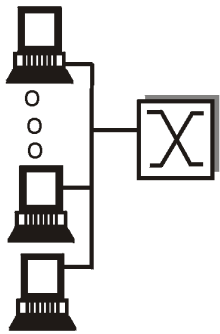
# Capa Enlace de Datos

- ❑ 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

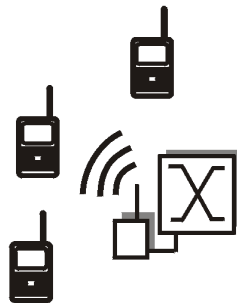
# Enlaces y Protocolos de Acceso Múltiple

Dos tipos de “enlaces” físicos :

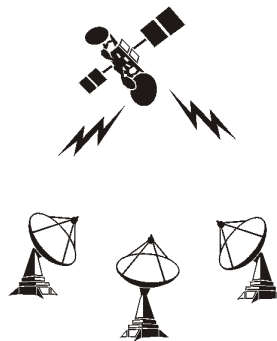
- ❑ Punto-a-apunto (un Tx y un Rx)
  - Acceso discado usando Point-to-Point Protocol (PPP)
  - Enlaces punto-a-punto entre switch Ethernet y host (computador)
- ❑ **broadcast** (cable o medio compartido)
  - Ethernet original (todos conectados a un sólo cable coaxial, ya no se usa)
  - Ethernet con HUB (HUB=repetidor capa física, casi no quedan)
  - Flujo de subida en HFC (**Hybrid Fiber Coax**)
  - 802.11 LAN inalámbrica



shared wire  
(e.g. Ethernet)



shared wireless  
(e.g. Wavelan)



satellite



cocktail party

# Protocolos de acceso múltiple

- ❑ Usan un canal simple de difusión compartido
- ❑ Puede haber dos o más transmisiones simultáneas en distintos nodos: => Interferencia
  - **Colisión** si un nodo recibe dos o más señales al mismo tiempo

## Protocolos de acceso múltiple

- ❑ Algoritmo distribuido que determina cómo los nodos comparten el canal, i.e., determina cuándo un nodo puede transmitir
- ❑ Son los mensajes para ponerse de acuerdo sobre cómo compartir el mismo canal!
  - No hay canal “fuera de banda” (aparte) para coordinación

# Protocolo de Acceso Múltiple Ideal

Supongamos un canal broadcast de tasa  $R$  bps, lo IDEAL sería:

1. Cuando un nodo quiere transmitir, éste puede enviar a tasa  $R$ .
2. Cuando  $M$  nodos quieren transmitir, cada uno puede enviar en promedio a una tasa  $R/M$
3. Completamente descentralizado:
  - No hay nodo especial para coordinar transmisiones
  - No hay sincronización de reloj o ranuras entre nodos
4. Es simple diseñarlo, **este ideal no existe**, pero define el máximo teórico.

# Taxonomía de protocolos MAC (Media Access Control)

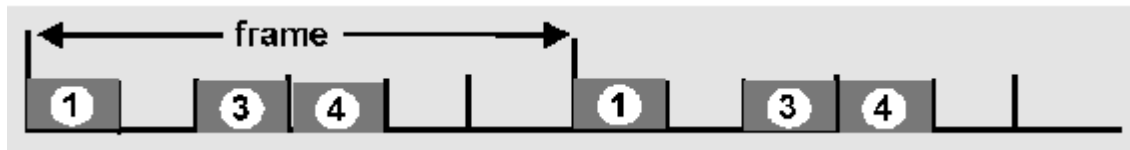
Tres clases amplias:

- ❑ **Canal Subdividido (“particionado”)** - visto en primeras clases, capítulo 1
  - Divide el canal en pequeños “pedazos” (ranuras de tiempo, frecuencia, código)
  - Asigna pedazos a un nodo para su uso exclusivo
- ❑ **Acceso Aleatorio**
  - Canal no es dividido, permite colisiones
  - Hay que “recuperarse” de las colisiones
- ❑ **“Tomando turnos”**
  - Los nodos toman turnos
  - Nodos con más por enviar pueden tomar turnos más largos

# Protocolo MAC en canal subdividido: TDMA

## TDMA: time division multiple access

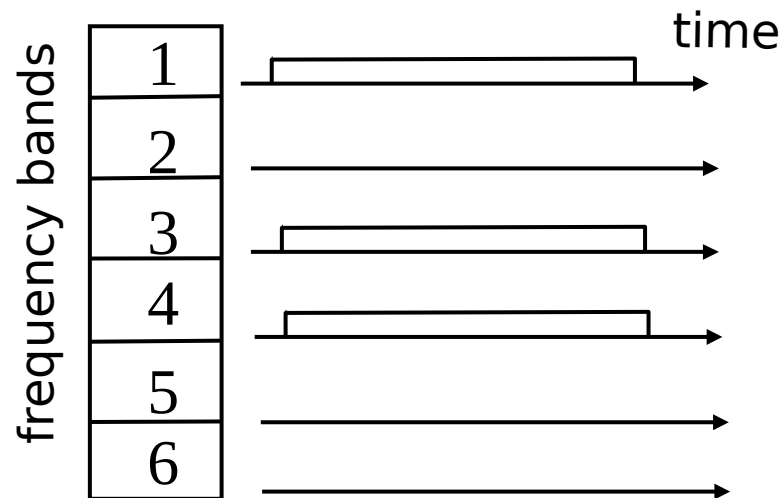
- ❑ Acceso a canales es en “rondas”
- ❑ Cada estación obtiene una ranura de largo fijo (largo= tiempo transmisión del paquete) en cada ronda
- ❑ Ranuras no usadas no se aprovechan
- ❑ Ejemplo: LAN con 6 estaciones, 1,3,4 tienen paquetes, ranuras 2,5,6 no usadas



# Protocolos MAC en canal Subdividido: FDMA

## FDMA: frequency division multiple access

- ❑ Espectro del canal es dividido en bandas de frecuencia
- ❑ Cada estación obtiene una banda de frecuencia fija
- ❑ Tiempo de transmisión no usado no es aprovechado
- ❑ Ejemplo: LAN de 6 estaciones, 1,3,4 tiene paquetes, bandas de frecuencias 2,5,6 no se aprovechan





# Protocolos MAC en canal Subdividido: CDMA

## CDMA: code division multiple access

- ❑ El canal es dividido haciendo que cada transmisor use un código distinto.
- ❑ Usando códigos adecuados varios transmisores pueden transmitir simultáneamente sin generar interferencia entre ellos. Las otras comunicaciones solo aumentan el nivel de ruido.
- ❑ Partió usado en sistemas militares, hoy es usado en telefonía celular.

# Protocolos de Acceso Aleatorio

- Cuando un nodo tiene paquetes que enviar
  - Transmite a la tasa máxima del canal,  $R$ .
  - No hay coordinación entre nodos
- Si dos o más nodos transmiten se produce “colisión”
- **Protocolos de acceso aleatorio** especifican:
  - Cómo detectar colisiones
  - Cómo recuperarse de una colisión (e.g., vía retransmisiones retardadas)
- Ejemplos de protocolos MAC de acceso aleatorio:
  - ALOHA ranurado
  - ALOHA
  - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA (CSMA: Carrier Sense Multiple Access)

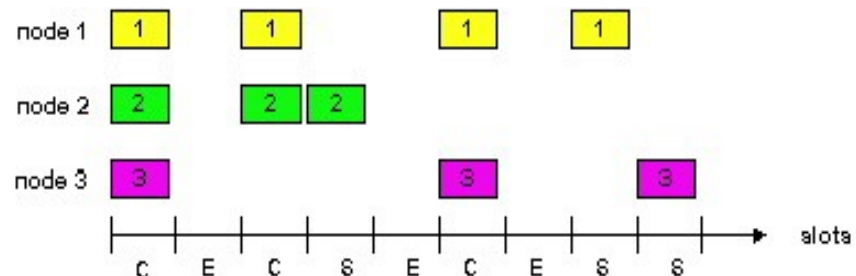
# ALOHA ranurado

## Suposiciones

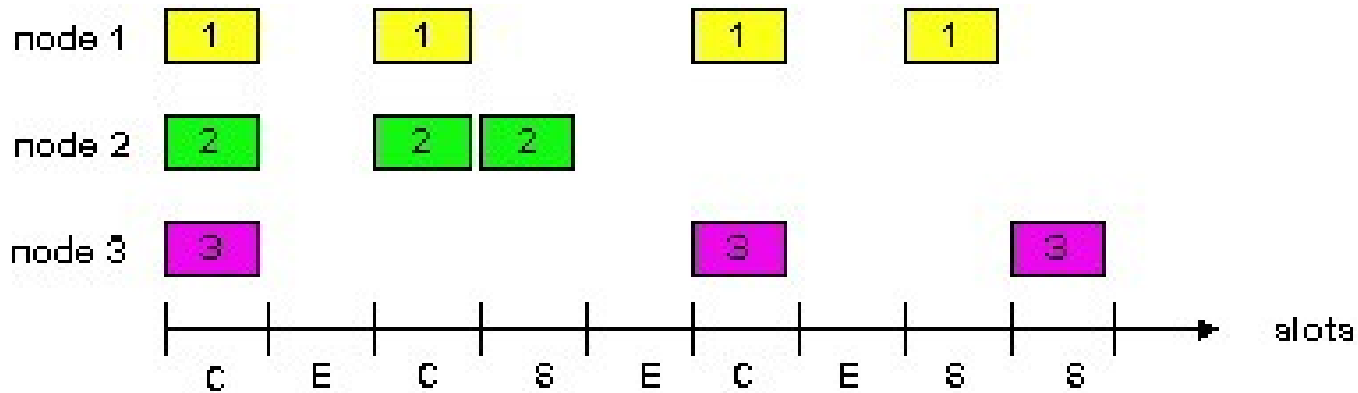
- ❑ Todos las tramas tienen igual tamaño
- ❑ Tiempo es dividido en ranuras de igual tamaño = tiempo para enviar una trama
- ❑ Nodos comienzan a transmitir sólo al inicio de cada ranura
- ❑ => **Nodos deben estar sincronizados**
- ❑ Si 2 ó más nodos transmiten en una ranura, todos los nodos detectan la colisión

## Operación

- ❑ Cuando un nodo obtiene una trama nueva a enviar, éste transmite en próxima ranura
- ❑ Si no hay colisión, el nodo puede enviar una nueva trama en próxima ranura
- ❑ Si hay colisión, el nodo la detecta antes del término de la ranura y retransmite la trama en ranura siguiente con probabilidad  $p$  hasta transmisión exitosa



# ALOHA ranurado



## Ventajas

- ❑ Un único nodo activo puede transmitir continuamente a tasa máxima del canal
- ❑ Altamente descentralizado: pero cada nodo requiere sincronización en ranuras
- ❑ Simple

## Desventajas

- ❑ Colisiones, ranuras se desperdician
- ❑ Ranuras no ocupadas
- ❑ Nodos podrían detectar la colisión en menor tiempo que el de una ranura.
- ❑ Requiere sincronización de relojes

# Eficiencia de Aloha ranurado en alta carga (Slotted Aloha)

**Eficiencia** fracción a largo plazo de uso exitoso de ranuras cuando hay muchos nodos y cada uno tiene muchas tramas para enviar

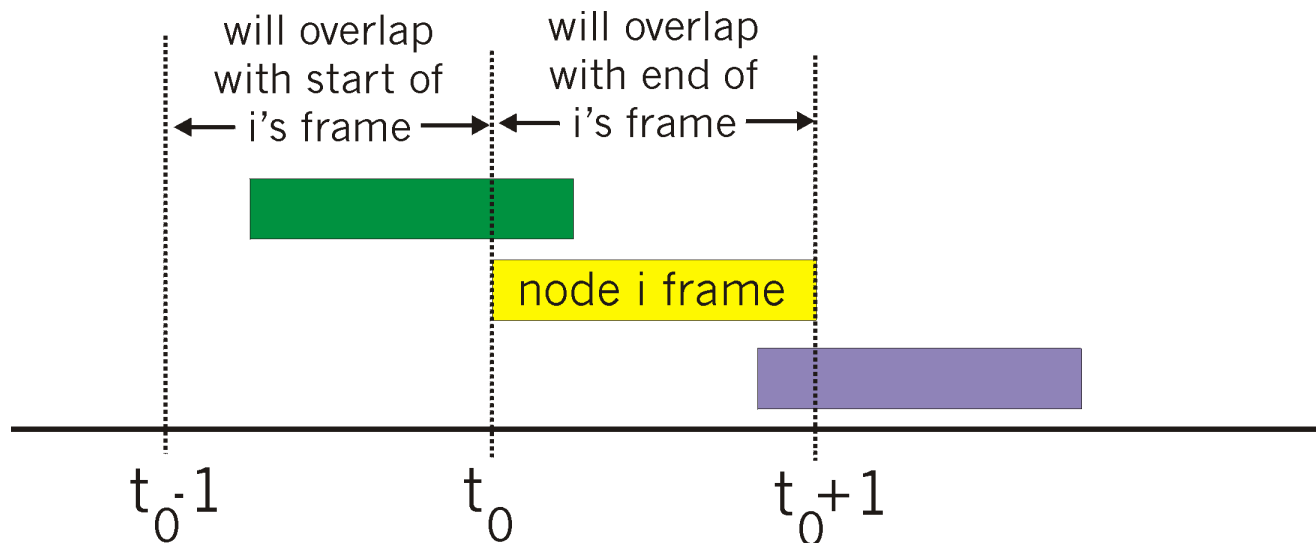
- Supongamos  $N$  nodos con muchas tramas a enviar, cada una transmite con probabilidad  $p$
- Simplificación para el cálculo
- Prob. que el nodo 1 tenga éxito en un slot =  $p(1-p)^{N-1}$
- Prob. que cualquier nodo tenga éxito =  $Np(1-p)^{N-1}$

- Con  $N$  nodos activos la Eficiencia es:  $E(p) = Np(1-p)^{N-1}$
- Para encontrar la máxima Eficiencia se debe encontrar  $p^*$  que maximiza  $E(p)$ . Éste es un buen ejercicio de cálculo.
- Para muchos nodos, tomar límite de  $E(p^*) = Np^*(1-p^*)^{N-1}$  cuando  $N$  va a infinito, da  $1/e = .37$

***Mejor caso en alta carga:***  
canal usado para transmisiones útiles 37% del tiempo!

# ALOHA Puro (no ranurado)

- ❑ Aloha no ranurado: más simple, no hay sincronización
- ❑ Cuando una trama debe ser enviada
  - transmitir inmediatamente
- ❑ Probabilidad de colisión aumenta:
  - Trama enviada en  $t_0$  colisiona con otras tramas enviadas en  $(t_0-1, t_0+1)$  (medido en unidades del tiempo de transmisión)



# Eficiencia de Aloha puro

$$\begin{aligned} P(\text{éxito transmisión de un frame en nodo}) &= \\ &P(\text{nodo transmite}) * \\ &P(\text{ningún otro nodo transmite en } (t_0-1, t_0) ) * \\ &P(\text{ningún otro nodo transmite en } (t_0, t_0+1) ) \\ &= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1} \\ &= p \cdot (1-p)^{2(N-1)} \end{aligned}$$

... elegir  $p$  óptimo y dejar que  $N \rightarrow$  infinito ...  
 $= 1/(2e) = .18$

La mitad de ALOHA ranurado!  
Ventaja: más simple  
Desventaja: menos eficiente.

# Otro protocolo de acceso múltiple: CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

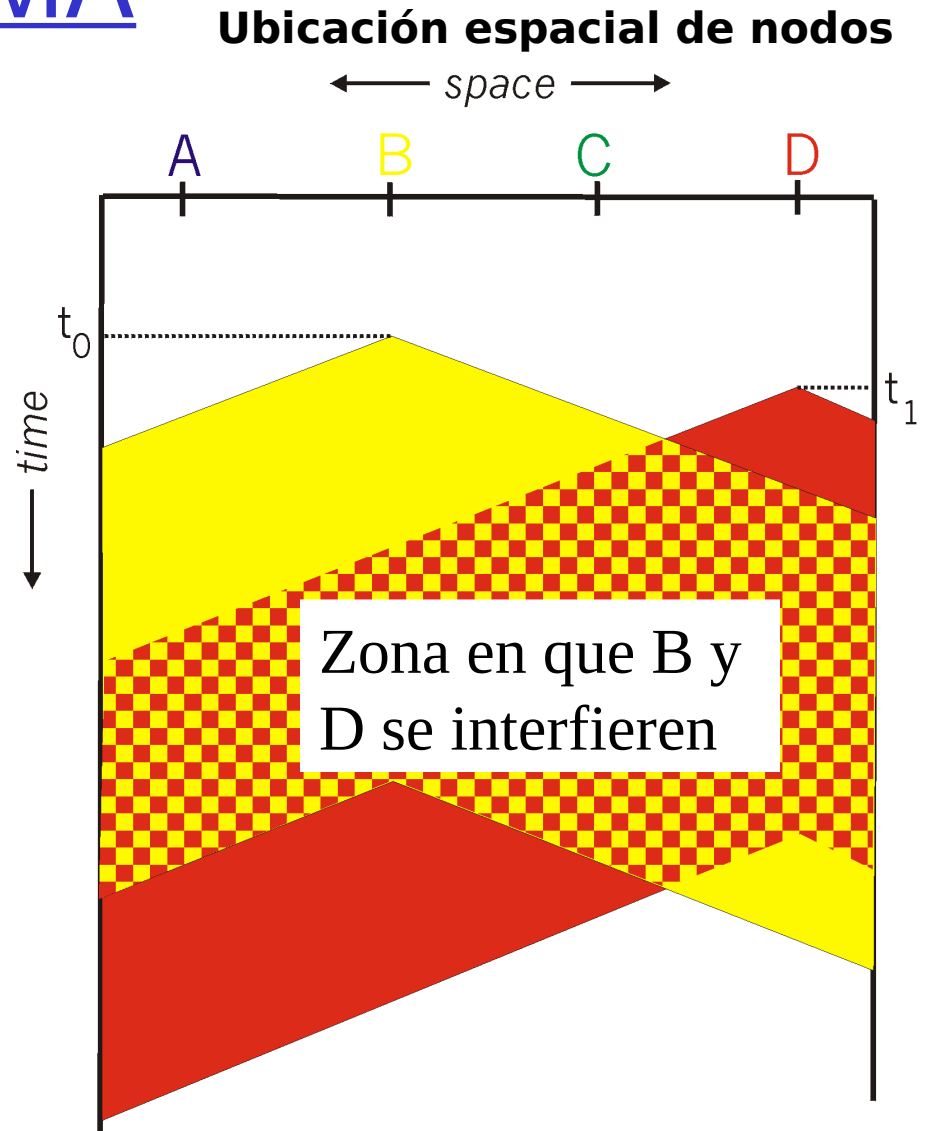
**CSMA:** Sensa señal portadora antes de transmitir:

- ❑ Si el canal se sensa libre, se transmite la trama entera
- ❑ Si el canal se detecta ocupado, postergar transmisión
  
- ❑ Analogía humana: no interrumpir mientras otros hablan!
- ❑ Mejoras respecto a ALOHA interesantes de analizar:
  - No hablar cuando otro lo hace.
  - Parar de hablar si alguien interrumpe.



# Colisiones en CSMA

- ❑ **Colisiones pueden ocurrir:**  
Retardo de propagación hace que dos nodos podrían no escuchar sus transmisiones
- ❑ **Colisión:**  
El tiempo de transmisión del paquete entero es desaprovechado
- ❑ **Notar:**  
El rol de la distancia y el retardo de propagación en la determinación de la probabilidad de colisión

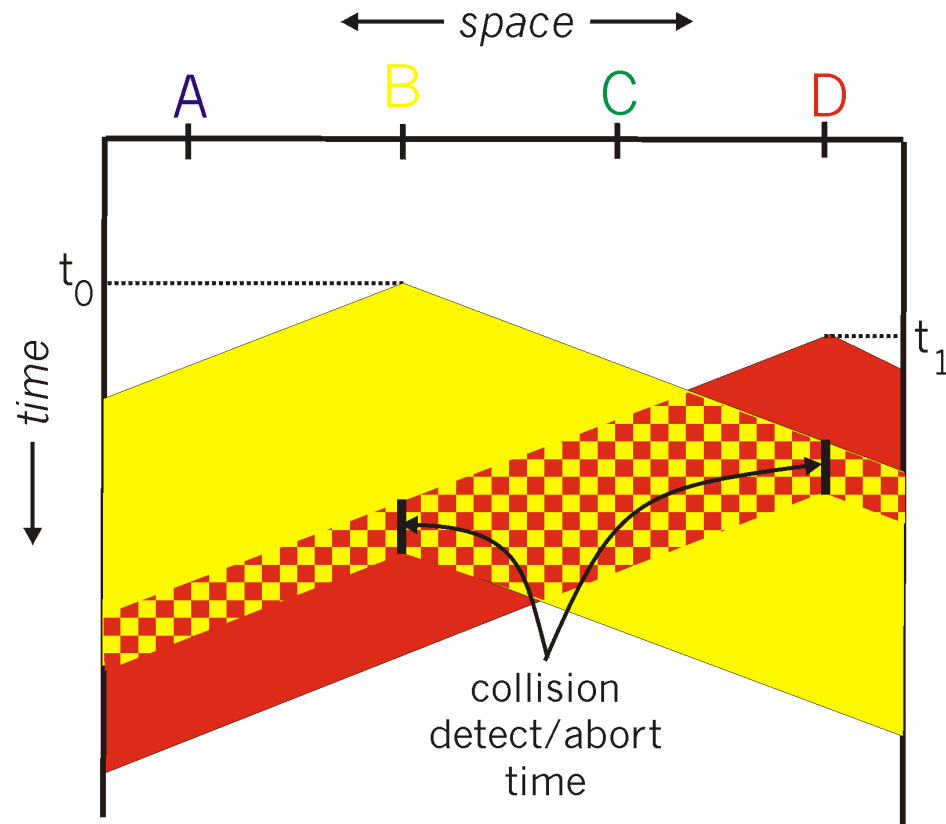


# CSMA/CD (Detección de Colisiones)

**CSMA/CD:** carrier sensing, similar a CSMA, la diferencia es que:

- Aquí colisiones son *detectadas* en corto tiempo
- Transmisiones en colisión son abortadas, reduciendo el mal uso del canal (comparado con sólo CSMA)
- Detección de colisiones:
  - Fácil en LANs cableadas: se mide la potencia de la señal, se compara señales transmitidas con recibidas
  - Difícil LANs inalámbricas: receptor es apagado mientras se transmite
- Analogía humana: Conversadores respetuosos

# CSMA/CD detección de colisiones



# Protocolos MAC de “toma de turnos”

Vimos: Protocolos MAC que particionan el canal:

- Se comparte el canal eficientemente y equitativamente en alta carga
- Son ineficiente a baja carga: Hay retardo en acceso al canal,  $1/N$  del ancho de banda es asignado aún si hay sólo un nodo activo!

Vimos: Protocolos de acceso aleatorio

- Son eficientes a baja carga: un único canal puede utilizar completamente el canal
- Alta carga: ineficiencias por colisiones

**Idea: Protocolos de “toma de turnos”**

- Buscan lo mejor de ambos mundos!

# Protocolos MAC de “Toma de turnos”

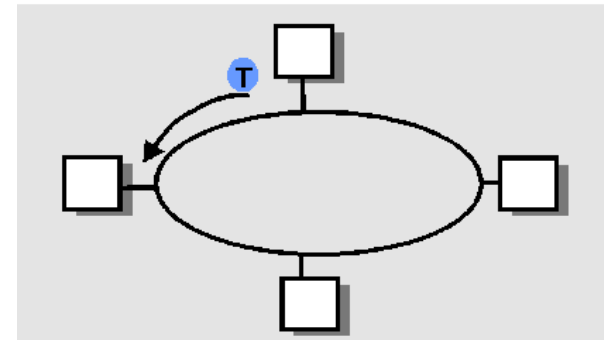
Dos opciones: Consulta o paso de token.

## Consulta:

- ❑ Nodo maestro “invita” a nodos esclavos a transmitir en turnos
- ❑ preocupaciones:
  - Overhead de la consulta
  - Latencia
  - Punto único de falla (maestro)

## Paso de Token (Testimonio):

- ❑ **Token** (objeto) de control es pasado de nodo en nodo secuencialmente.
- ❑ Hay un mensaje con el token
- ❑ Preocupaciones:
  - Overhead del token
  - Latencia
  - Punto único de falla (el token)



# Resumen de protocolos MAC

- ¿Qué hacemos en un medio compartido?
  - Subdivisión del canal: por tiempo, frecuencia, o código
  - Subdivisión aleatoria (dinámica),
    - ALOHA, ALOHA-R, CSMA, CSMA/CD
    - Sensado de portadora: fácil en algunas tecnologías (cable), difícil en otras (inalámbricas)
    - CSMA/CD (collision detection) es usado en Ethernet
    - CSMA/CA (collision avoidance) es usado en 802.11
  - Toma de turnos
    - Consultas desde un sitio central, o pasando un token

# 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