

# Redes de computadoras

Capa de Enlace - Introducción

Las diapositivas están basadas en en libro:  
“Redes de Computadoras – Un enfoque descendente”  
de James F. Kurose & Keith W. Ross

# Capa de Enlace: Introducción

Hosts y routers son **nodos**, los canales de comunicación que conectan nodos adyacentes a través de caminos de comunicación son enlaces.

El paquete de capa de enlace, denominado **frame** o **trama**, encapsula un datagrama.

La capa de enlace tiene la tarea de transferir datagramas desde un nodo a otro nodo **adyacente**, a través de un enlace.



# Capa de Enlace: contexto

Los datagramas son transferidos por diferentes protocolos de enlace sobre diferentes enlaces:

Ej:

- Primer enlace: Ethernet
- Enlaces intermedios: Frame Relay
- último enlace: 802.11

Cada protocolo de enlace brinda diferentes servicios.

Ej: Puede proveer o no transferencia confiable sobre el enlace.

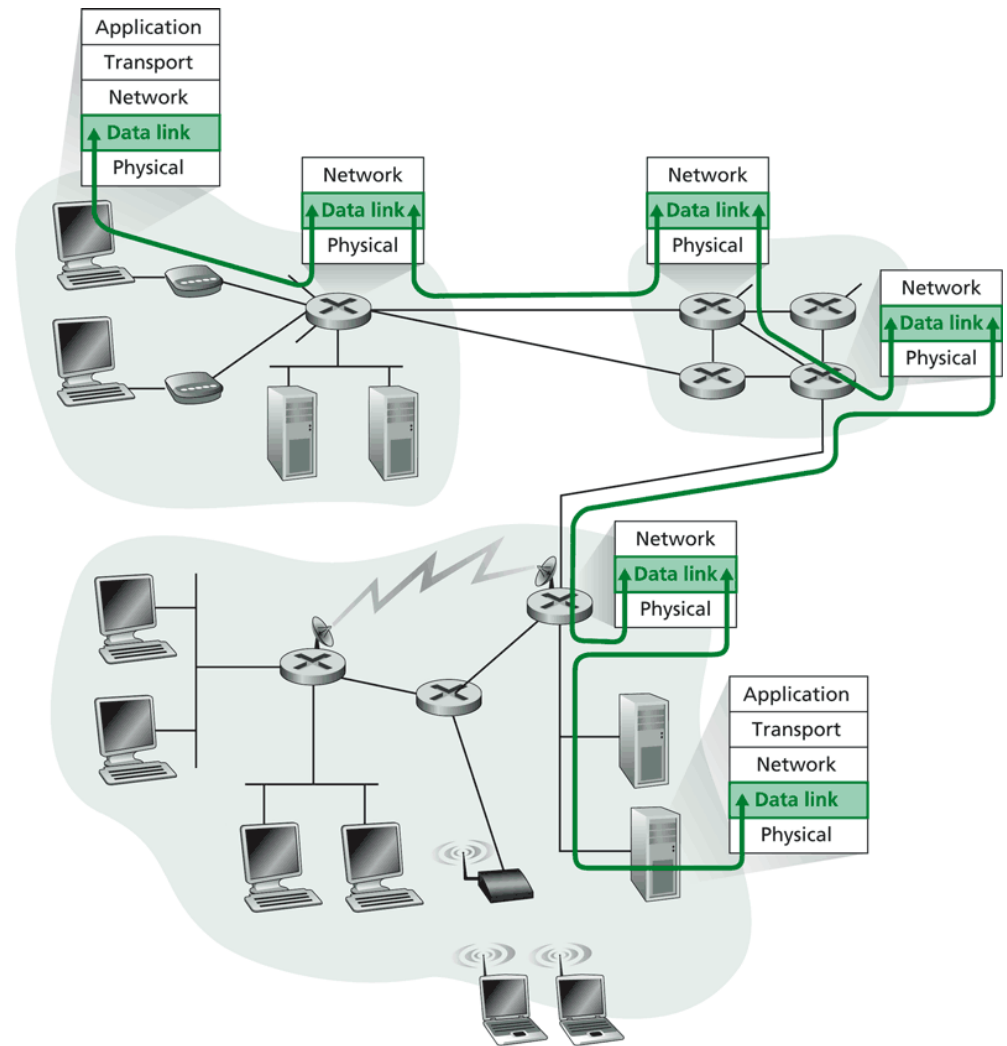


Figure 5.1 ♦ The link layer

# Capa de Enlace: Servicios

## **Entramado (framing):**

- Encapsulado del datagrama en la trama, agregando encabezado (header) y cola (trailer)

## **Acceso al enlace:**

- Acceso al canal si es un medio compartido
- Direcciones MAC, utilizadas en los encabezados de las tramas

## **Entrega confiable:**

- Entre nodos adyacentes
- Principalmente en enlaces inalámbricos.

# Capa de Enlace: Servicios

## Control de flujo:

- Acuerdo entre los nodos emisor y receptor  
(buffers y capacidad de procesamiento)

## Detección de errores:

- Errores causados por atenuación de señal o ruido
- El receptor detecta errores: Informa al emisor y/o descarta la trama

## Corrección de errores:

- El receptor identifica y corrige errores sin necesidad de retransmisión

## Half-Duplex y Full-Duplex:

- Posibilidad de transmitir al mismo tiempo o no.

# Capa de Enlace:

La capa de enlace se implementa:

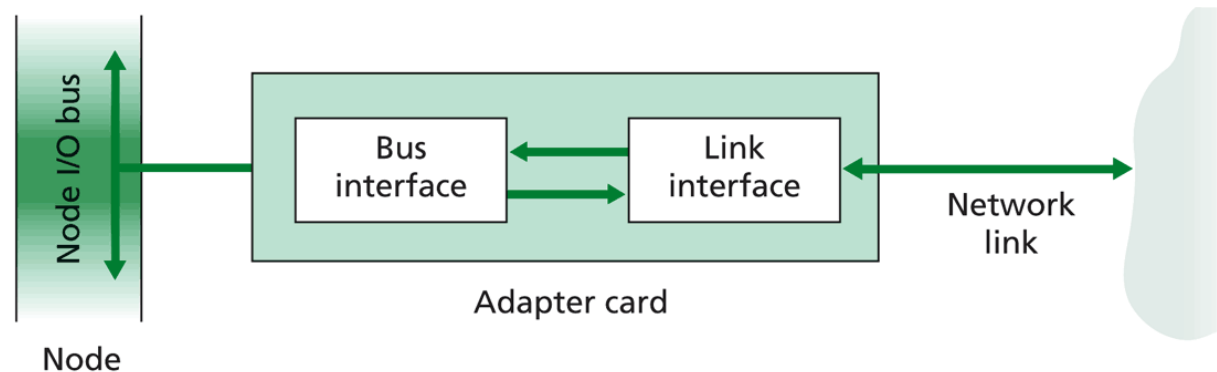
En todos los hosts

- En el adaptador de red NIC (**Network Interface Card**)

Tarjetas Ethernet, PCMCIA, 802.11

Se implementan las capas de enlace y física por lo menos.

- Incorporadas a los buses del sistema de los hosts
- Combinación de hardware, software, firmware



**Figure 5.3** ♦ The adapter is a semi-autonomous unit.

# Comunicación de adaptadores

## Lado Emisor:

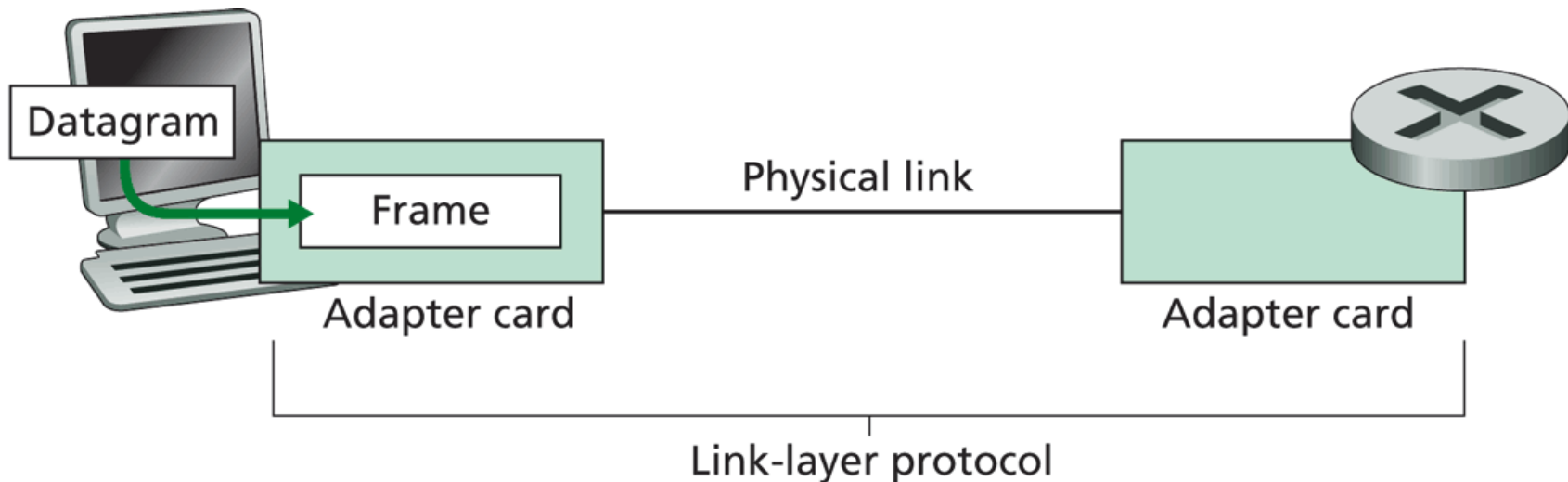
Encapsula el datagrama en un frame

Agrega bits de chequeo de error, control de flujo, etc.

## Lado Receptor:

Busca por errores, control de flujo, etc.

Extrae el datagrama y lo pasa a las capas superiores.



# Detección de errores

EDC = Bits de detección y corrección de errores (redundancia)

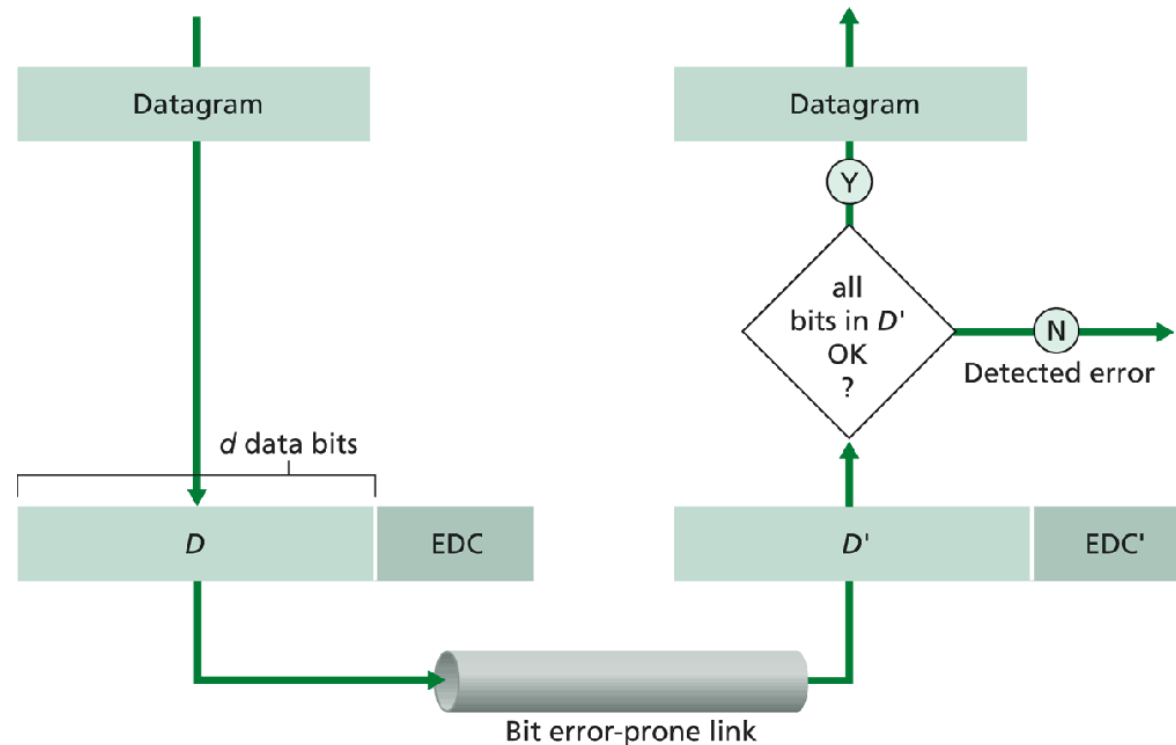
(Error Detection Correction)

D = Datos protegidos por el chequeo de errores.

Puede incluir campos del encabezado

La detección de errores  
no es 100% confiable

- El protocolo puede perder algunos errores.
- Un campo de EDC mayor proporciona mejor detección y corrección...

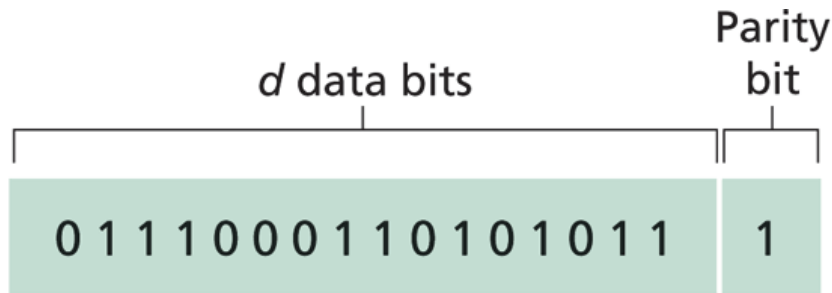




# Chequeo de paridad

Paridad de un bit:

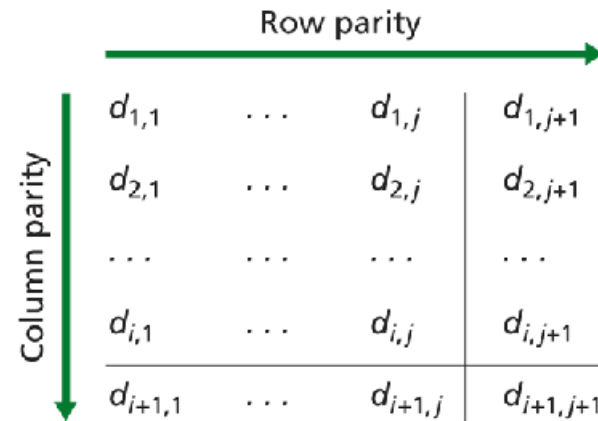
Detecta errores en 1 bit



Paridad en dos dimensiones:

Detecta y corrige errores en 1 bit  
¿Detecta errores dobles?

¿paridad par, impar?



No errors

1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

Correctable  
single-bit error

1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
0	0	1	0	1	0

Parity error

Parity error

# Protocolos y enlaces de acceso múltiple

## Dos tipos de enlaces:

### Punto a punto

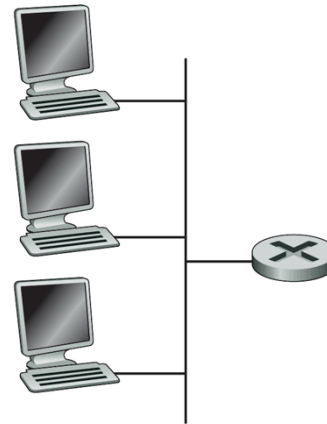
- PPP para acceso discado
- HDLC  
High level Data Link Control
- Enlace punto a punto entre switch Ethernet y host

### Broadcast

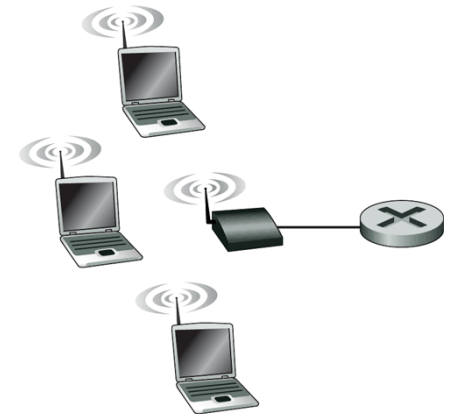
(cable o medio compartido)

- Ethernet “legacy”
- HFC: Hybrid Fiber Cable
- 802.11: LAN Inalámbrica

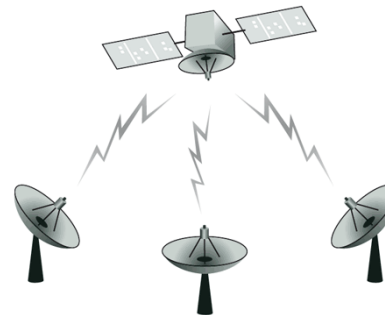
Shared wire  
(for example, Ethernet)



Shared wireless  
(for example, Wifi)



Satellite



Cocktail party



**Figure 5.9** ♦ Various multiple access channels

# Protocolos de acceso múltiple

- Único canal de difusión (broadcast) compartido
- Dos o más transmisiones simultáneas: Interferencia
  - Colisión
    - Si un nodo recibe dos o más señales al mismo tiempo
    - Simultaneidad en el tiempo y en la frecuencia de dos o más tramas en el mismo medio físico.

## Protocolo de acceso múltiple

- Algoritmo distribuido que determina cómo los nodos comparten el canal, y determina cuando el nodo puede transmitir
- La comunicación acerca de compartir el canal debe utilizar el mismo canal.

# Protocolos de acceso múltiple (ideal)

Canal de difusión (broadcast) con velocidad  $R$  bps

- 1) Cuando un nodo quiere transmitir, lo hará a una velocidad  $R$
- 2) Cuando  **$M$**  nodos quieren transmitir, cada uno enviará a una velocidad promedio de  **$R/M$**
- 3) Completamente descentralizado:
  - No hay un nodo especial para coordinar las transmisiones
  - No hay sincronización de relojes, slots
- 4) Simple

# Protocolos MAC

Tres grandes clases

- **Particionado del canal**

- Protocolos de arbitraje
- Divide el canal en pequeñas “piezas” (ranuras de tiempo, frecuencia, código)
- Asigna una pieza a un nodo para su uso exclusivo
- Estrategia estática
- equitativo

- **Acceso Randómico**

- El canal no se divide, permite colisiones
- “recuperación” de colisiones
- Estrategia dinámica

- **Toma de turnos**

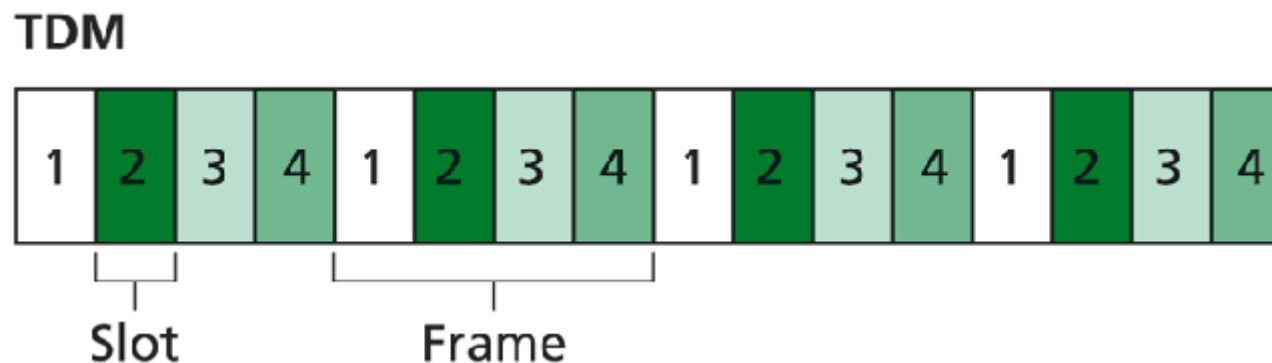
- Los nodos toman turnos, nodos con tramas largas turnos más largos.
- Estrategia dinámica
- Estrategias de reserva o centralizada

# Protocolos MAC

## Particionado del canal TDMA

### Time Division Multiple Access

- Acceso al canal rotatorio
- Cada estación tiene un slot de longitud fija en cada vuelta (longitud = tiempo de transmisión de la trama)
- Los slots sin usar quedan libres

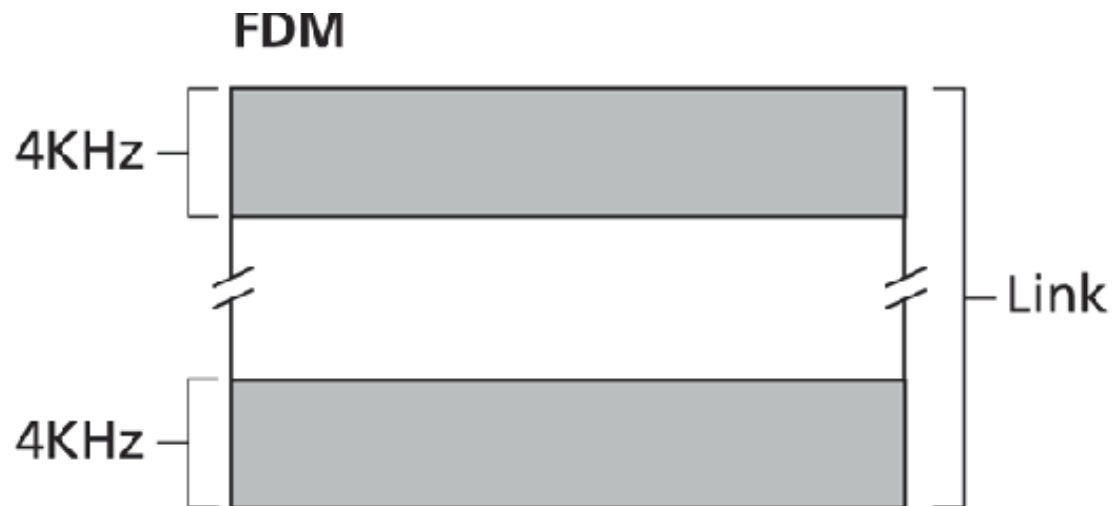


# Protocolos MAC

## Particionado del canal FDMA

### Frequency Division Multiple Access

- El espectro del canal se divide en bandas de frecuencia
- A cada estación se le asigna una banda de frecuencia fija
- El tiempo de transmisión no utilizado en las bandas de frecuencia queda libre



# Protocolos de acceso aleatorio

Cuando un nodo tiene un paquete para enviar

- Transmite a la velocidad total del canal,  $R$
- No existe previa coordinación entre nodos

Dos o más nodos transmitiendo, posible “colisión”

Protocolos MAC de acceso aleatorio especifican:

- Cómo detectar colisiones (directa o indirecta)
- Cómo recuperarse de las colisiones  
(Ej: a través de retransmisiones retrasadas)

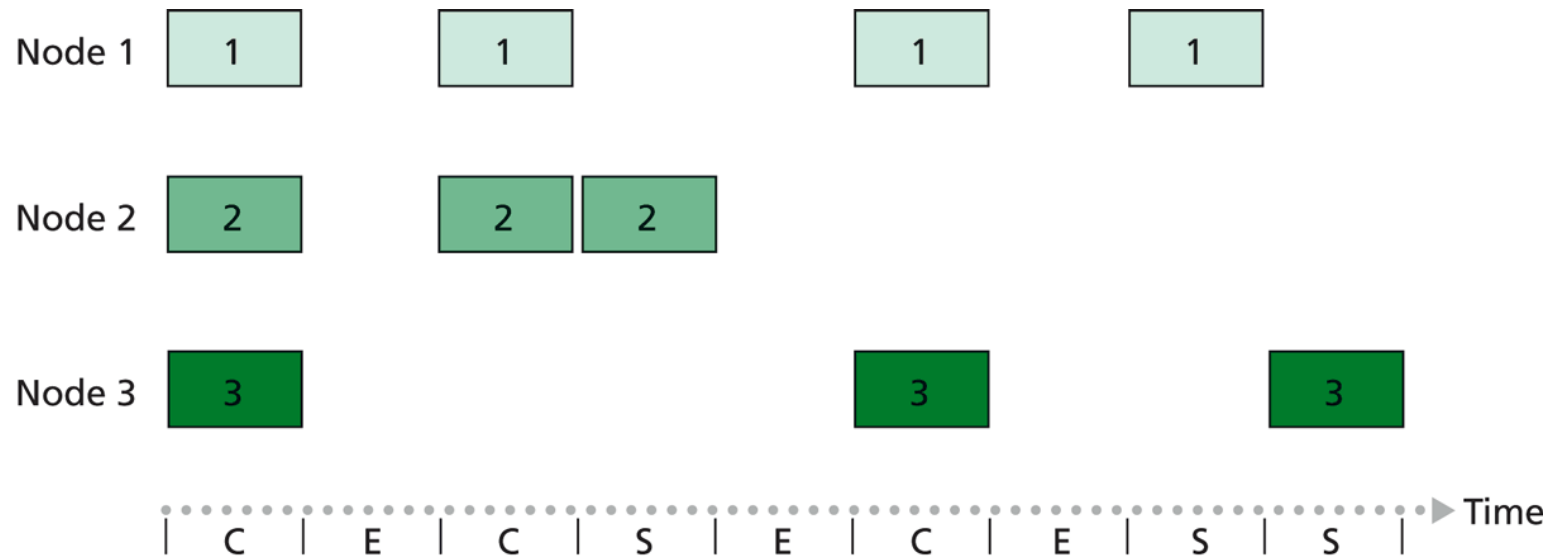
ALOHA, ALOHA ranurado

CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

(Sistemas de contención o de contienda)



# ALOHA



Key:

C = Collision slot  
E = Empty slot  
S = Successful slot

**Figure 5.11** ♦ Nodes 1, 2, and 3 collide in the first slot. Node 2 finally succeeds in the fourth slot, node 1 in the eighth slot, and node 3 in the ninth slot.

# ALOHA Ingenio e inspiración para CSMA



# CSMA

## Carrier Sense Multiple Access

(Acceso Múltiple por Detección)

Escuchar antes de transmitir

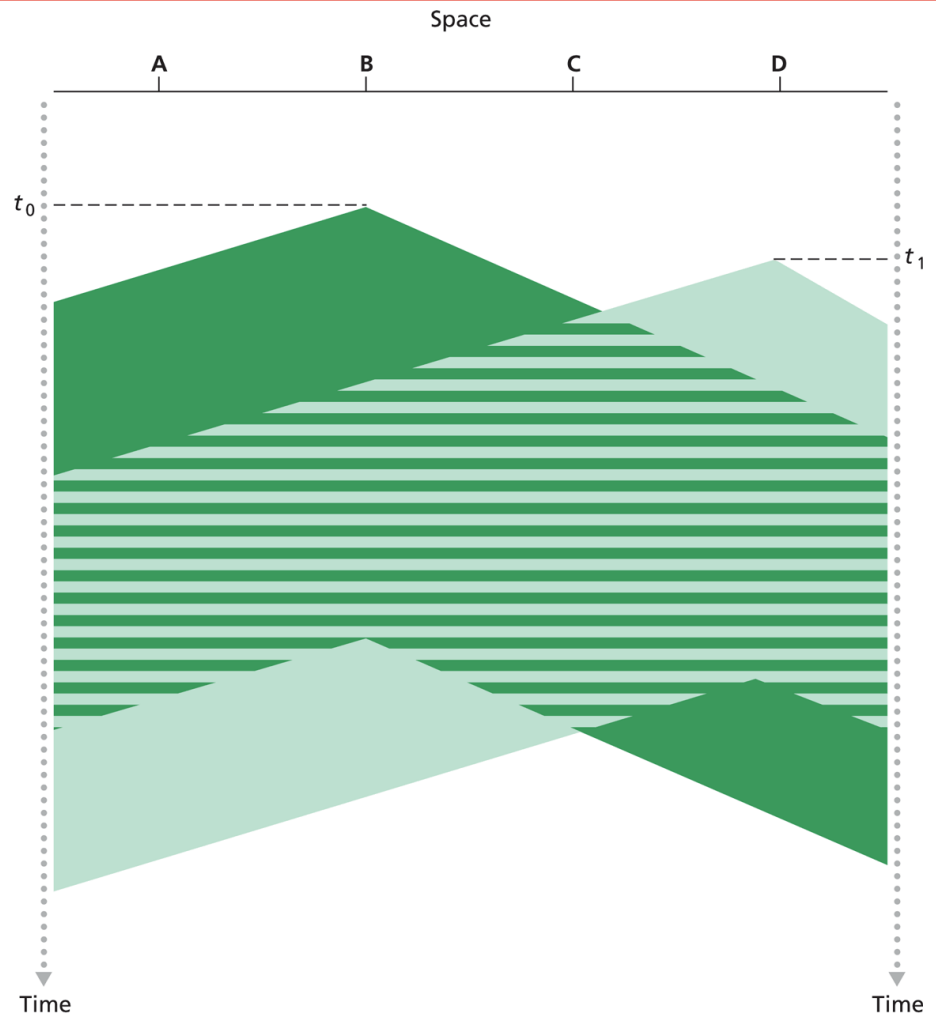
- Si el canal está libre se transmite el frame entero
- Si el canal está ocupado: diferir la transmisión
  - Volver a escuchar después de un tiempo
  - Seguir escuchando hasta que quede libre y transmitir

# CSMA

Un nodo B puede comenzar a transmitir al detectar el medio disponible.

El **retardo de propagación** del canal hará que otro nodo D no detecte esa transmisión hasta después de determinado tiempo  $t_1$ .

A mayor retardo de propagación más probabilidad de que falle el sondeo y se produzcan colisiones.



**Figure 5.13** ♦ Space-time diagram of two CSMA nodes with colliding transmissions

# CSMA-CD

## Carrier Sense Multiple Access - Detección de Colisiones

- CSMA-CD:

- Si el canal esta en uso se difiere la transmisión como en CSMA

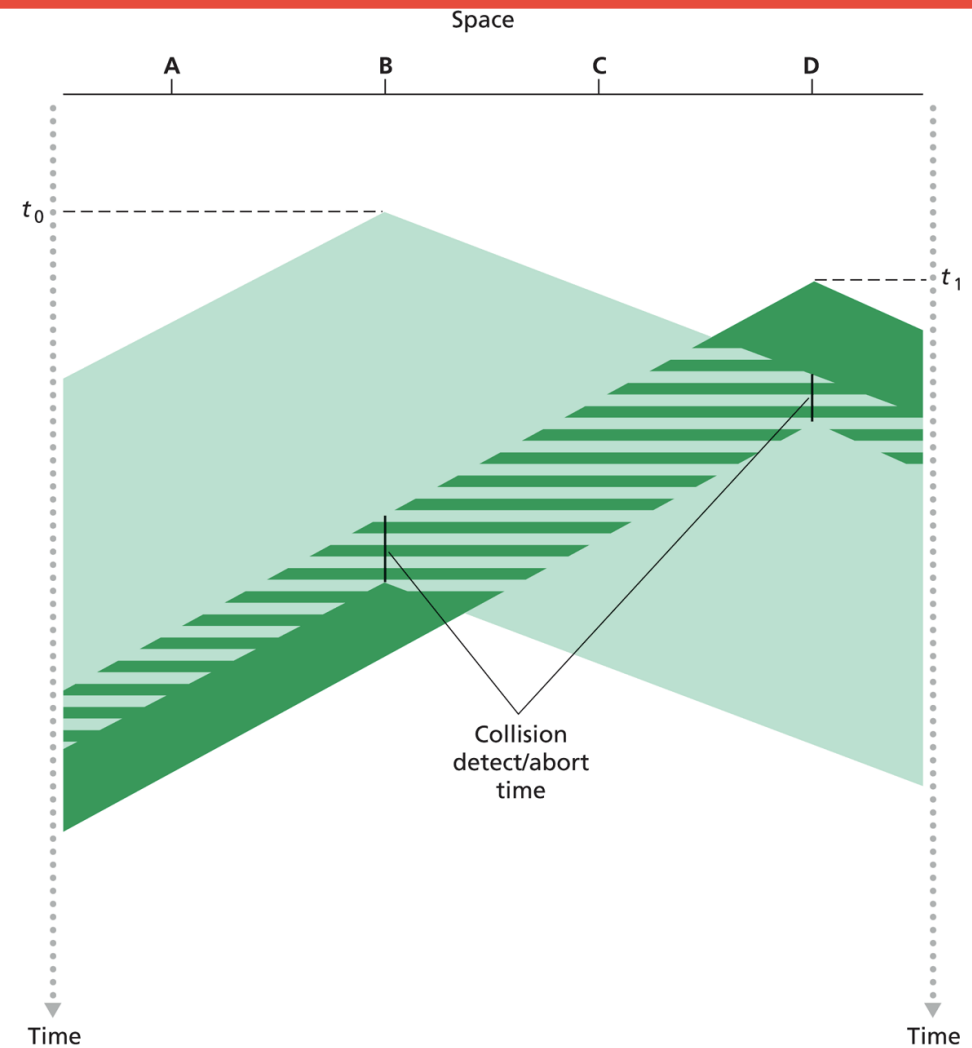
- Las transmisiones que colisionan son abortadas
  - Colisión = desperdicio del canal

### Detección de colisión:

- Relativamente fácil en LANs cableadas
  - Difícil en LANs inalámbricas

# CSMA-CD

Detección de una colisión  
y cancelación de la  
transmisión



**Figure 5.14** ♦ CSMA with collision detection

# Protocolos MAC “Toma de turnos”

## Encuesta:

El nodo maestro invita a los nodos esclavos a transmitir por turnos

- Típicamente utilizado con dispositivos esclavos “tontos”
- Sin colisiones
- Determinístico
- Involucra:
  - Sobrecarga por la encuesta
  - latencia
  - único punto de falla (maestro)

Ej: Bluetooth (IEEE 802.15), Un modo de Wi Fi (802.11)

# Protocolos MAC “Toma de turnos”

## Paso de testigo:

No existe un nodo maestro, se intercambia una trama especial token

- Quién retiene el token puede transmitir determinada cantidad de tramas
- Se va pasando al siguiente nodo
  - Eficiente
  - Problemas si un nodo falla.

Ej: FDDI, IEEE 802.5



# Resumen de protocolos MAC

## Particionado del canal:

- Compartir el canal justa y eficiente a alta carga
- Ineficiente a baja carga: Retardo en el acceso al canal, ancho de banda  $1/N$  asignado aún si hay un sólo nodo activo.

## Acceso Randómico:

- Eficiente a baja carga: Un único nodo puede utilizar completamente el canal.
- Alta carga: Overhead por colisión

## Protocolos de “Toma de turnos”

- Busca lo mejor de las dos estrategias.