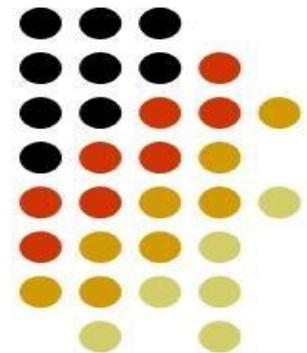
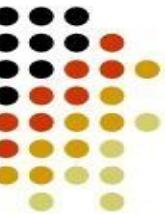

La subcapa de control de acceso al medio





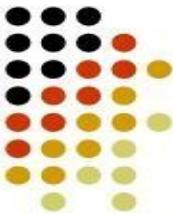
Redes

⌘ Redes Punto a Punto

conexión directa entre dos nodos de una red

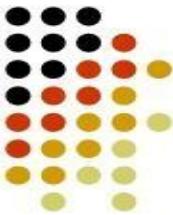
⌘ Redes que utilizan canales de difusión

utilizan un mismo canal para transmitir información.



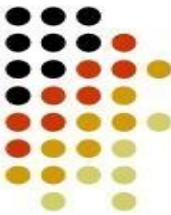
Contenido

- ⌘ Las subcapas de la capa de enlace de datos
- ⌘ El problema de la asignación de canales
- ⌘ Protocolos de acceso múltiple
- ⌘ Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora
- ⌘ Protocolos con detección de colisiones
- ⌘ Protocolos libres de colisiones



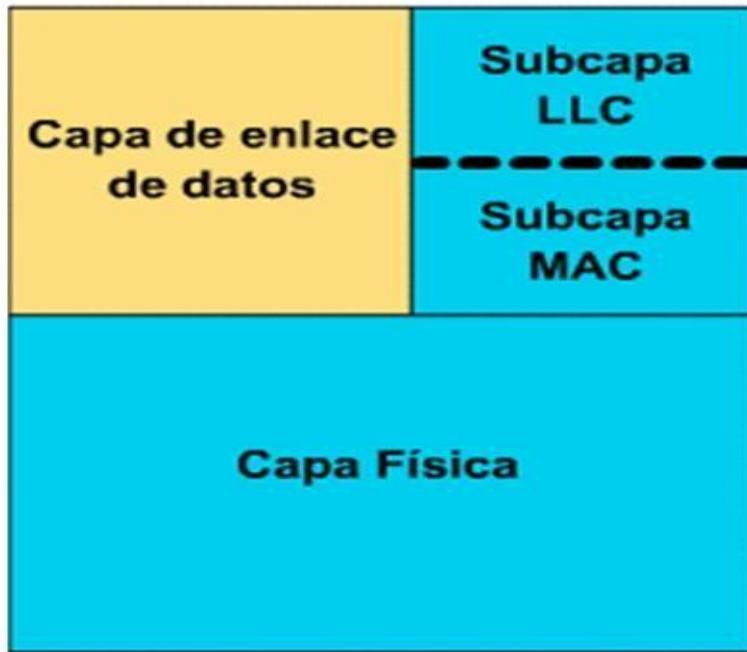
La capa de enlace de datos

- ⌘ La IEEE subdividió la capa de enlace de datos en dos subcapas:
 - ⌘ La subcapa LLC (Logical Link Control) o subcapa de control de enlace lógico
 - ⌘ La subcapa MAC (Media Access Control) o subcapa de control de acceso al medio

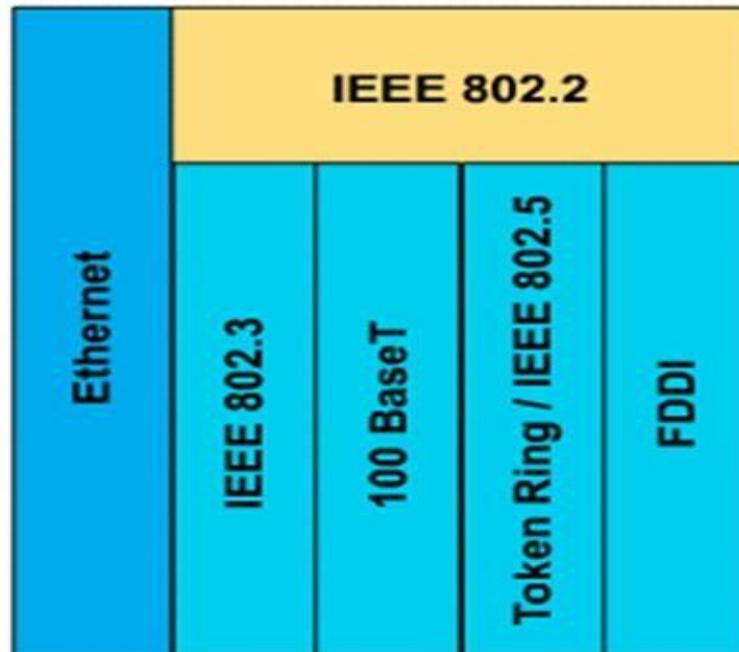


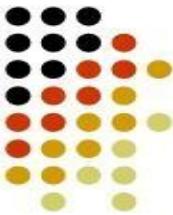
Comparando OSI e IEEE 802.3

Capas del modelo OSI



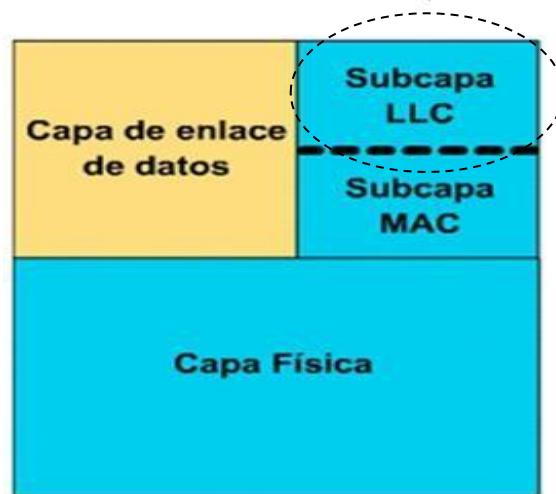
Especificación de LAN

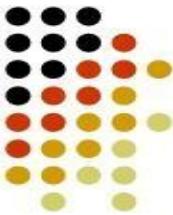




La subcapa LLC

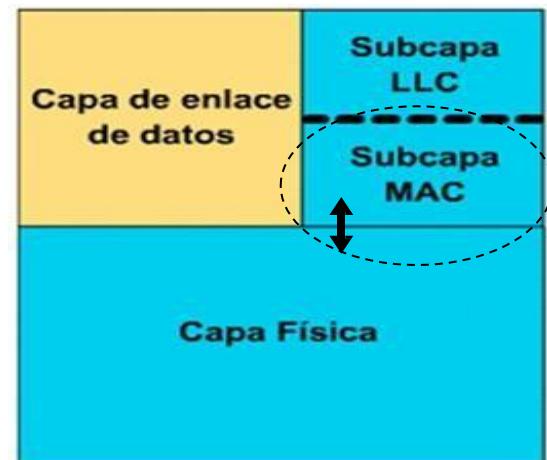
⌘ Fue creada con el propósito de proporcionar a las capas superiores (capa de red) una interfaz independiente de la tecnología empleada en la capa de enlace de datos y en la capa física

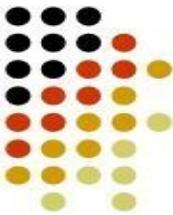




La subcapa MAC

- ⌘ Los protocolos usados para determinar quien sigue en un canal multiacceso pertenecen a una SubCapa de la Capa de enlace llamada **MAC (Control de Acceso al Medio)**
- ⌘ Se encarga de la topología lógica de la red y del método de acceso a ésta.
- ⌘ Cada tecnología de red tiene una subcapa MAC diferente.
- ⌘ En la subcapa MAC residen las direcciones MAC

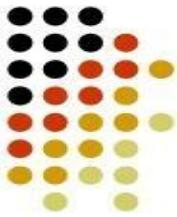




La subcapa MAC

-
- ⌘ Siempre que hay un medio compartido, es necesario definir las reglas de juego que regulen el acceso al canal.
 - ⌘ Esto es lo que denominamos protocolo de control de acceso al medio (Media Access Control)
 - ⌘ Ejemplos de redes que utilizan subcapa MAC:
 - Redes vía satélite
 - Redes CATV
 - Redes Wifi
 - Redes PLC
 - Redes FTTH

El problema de asignación de canales

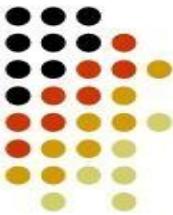


⌘ Asignación estática de canal

- Dividir la capacidad mediante esquemas de multiplexión vistos (FDM, TDM)
- Tiene sentido, cuando existe un número pequeño y constante, N, de usuarios y cada uno tiene suficientes datos para mantener ocupado el canal
- Existe desperdicio potencial del ancho de banda cuando algunos usuarios no transmiten o transmiten por ráfagas

⌘ Asignación dinámica de canal

- Puede hacer mejor uso del ancho de banda



Asignación estática de canales

- ⌘ **Eficiencia**, como el tiempo promedio de retardo T con λ tramas/segundo y $1/\mu$ longitud de la trama (bits/trama)

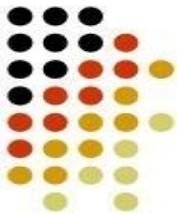
- a) Un solo canal con velocidad de datos C bps

$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

- b) El canal con velocidad de datos C bps se divide en N subcanales

$$T_{FDM} = \frac{1}{\mu(\frac{C}{N}) - \frac{\lambda}{N}} = \frac{N}{\mu C - \lambda} = NT$$

El retardo promedio al usar el canal compartido es N veces peor que si todas las tramas irían por una cola central



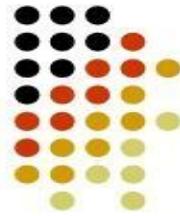
Asignación estática de canales

-
- ⌘ Ejemplo: $\lambda=5000$ tramas/segundo, $1/\mu=10.000$ bits/trama, $C=100$ Mbps

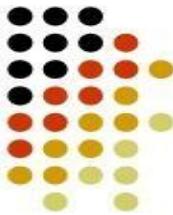
$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda} = 0,0002 = 200\mu\text{s/trama}$$

Asignación dinámica de canales

- 5 supuestos-



1. **Tráfico independiente:** N estaciones independientes, después de generar una trama cada estación se bloquea hasta que su trama es transmitida. **Probabilidad** de Tx de trama $\lambda \Delta t$. (λ = tasa de llegada de tramas nuevas)
2. **La suposición de canal único:** Solamente hay un canal para todas las estaciones y todas son equivalentes.
3. **La suposición de colisión:** Si dos estaciones transmiten simultáneamente hay colisión y las estaciones reconocen las colisiones. La trama colisionada debe transmitirse después. Son los únicos errores.



Asignación dinámica de canales

- 5 supuestos-

4.

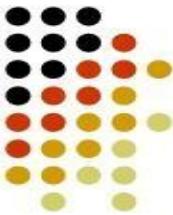
{ (a) **Tiempo continuo:** La transmisión puede iniciar en cualquier instante del tiempo, no hay reloj maestro

(b) **Tiempo Ranurado:** El tiempo **se divide en ranuras** de tiempo o slots, la transmisión se inicia siempre al inicio del slot si la transmisión tuvo éxito

5.

{ (a) **Detección de portadora:** Las estaciones **no transmiten si el canal está ocupado** y pueden detectar esta situación

(b) **Sin detección de portadora:** Las estaciones no pueden detectar el canal antes de intentar usarlo. **Simplemente transmiten.** Sólo después pueden determinar si la transmisión tuvo éxito.



Protocolos de acceso múltiple

⌘ ALOHA

⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora

(Carrier Sense Multiple Access Protocols)

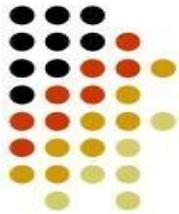
⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)

⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited-Contention Protocols)

⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda

⌘ Protocolos de LANs Inalámbricas

Definiciones



Colisión:

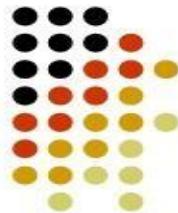
Cuando dos o más tramas son enviadas simultáneamente por el canal único

Contienda = Contención = Competencia:

Cuando múltiples sistemas deben tratar de ganar el canal común para su uso irrestricto

Persistencia:

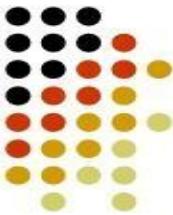
La característica de un protocolo de iniciar la transmisión al encontrar el canal libre después de esperar por él



Protocolos de acceso múltiple

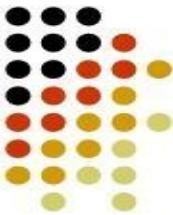
⌘ ALOHA

- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora
(Carrier Sense Multiple Access Protocols)
- ⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)
- ⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited- Contention Protocols)
- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda
- ⌘ Protocolos de LANs Inalámbricas

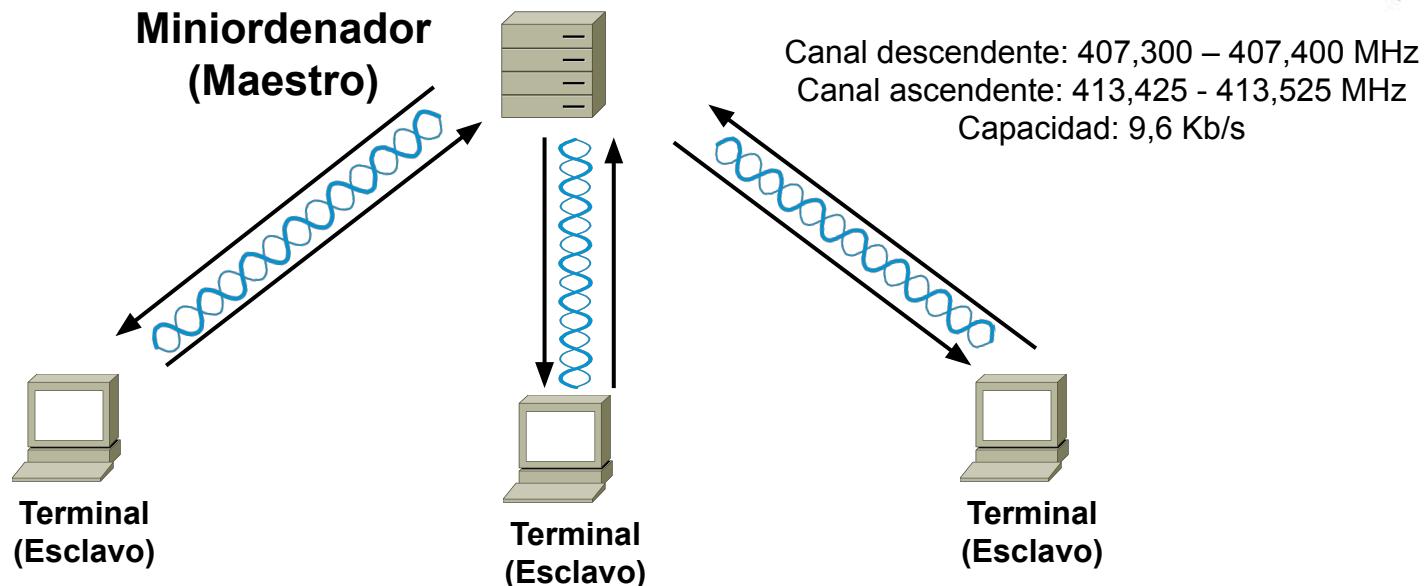


ALOHA: Antecedentes

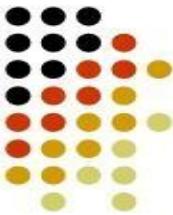
- 1969: Nace ARPANET
- 1970: Abramson crea red Alohanet (Additive Links Online Hawaii Area) en Univ. de Hawaii utilizando emisoras de radio taxis viejos
- Arquitectura maestro-esclavo (como los radio taxis)
- Dos canales:
 - Descendente (Maestro→Esclavo): un solo emisor
 - Ascendente (Esclavo→Maestro): compartido por 3 esclavos



ALOHA: Antecedentes

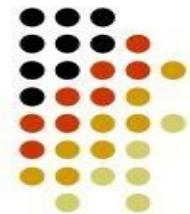


La comunicación ascendente (Esclavo→Maestro) puede sufrir colisiones si transmiten dos terminales a la vez. Si dos envíos se solapan en un bit, se descarta la trama



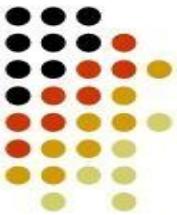
ALOHA puro

- En ALOHA puro, las tramas son transmitidas en tiempos completamente arbitrarios, **no se verifica si el canal está ocupado antes de transmitir.**
- No requiere sincronización global del tiempo.
- Eficiencia es: $S = Ge^{-2G}$

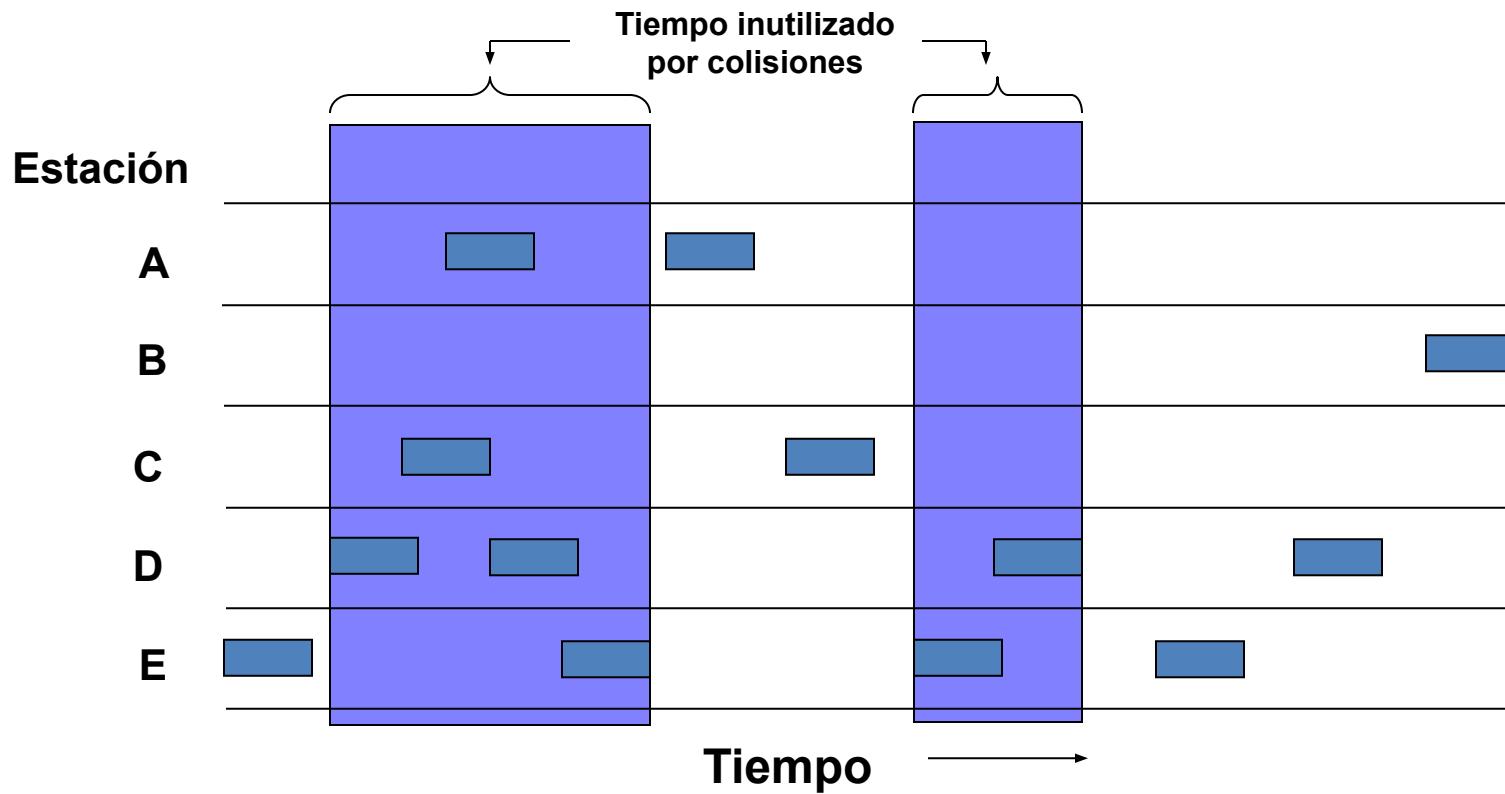


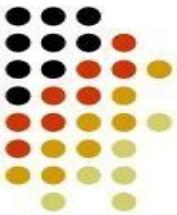
ALOHA ranurado

- ⌘ En ALOHA ranurado (slotted), el tiempo es discreto, cada ventana de tiempo corresponde al tiempo de una trama.
- ⌘ Las estaciones únicamente inician la transmisión al principio de la ventana de tiempo
- ⌘ El tiempo vulnerable se reduce a la mitad
- ⌘ La eficiencia es: $S = Ge^{-G}$

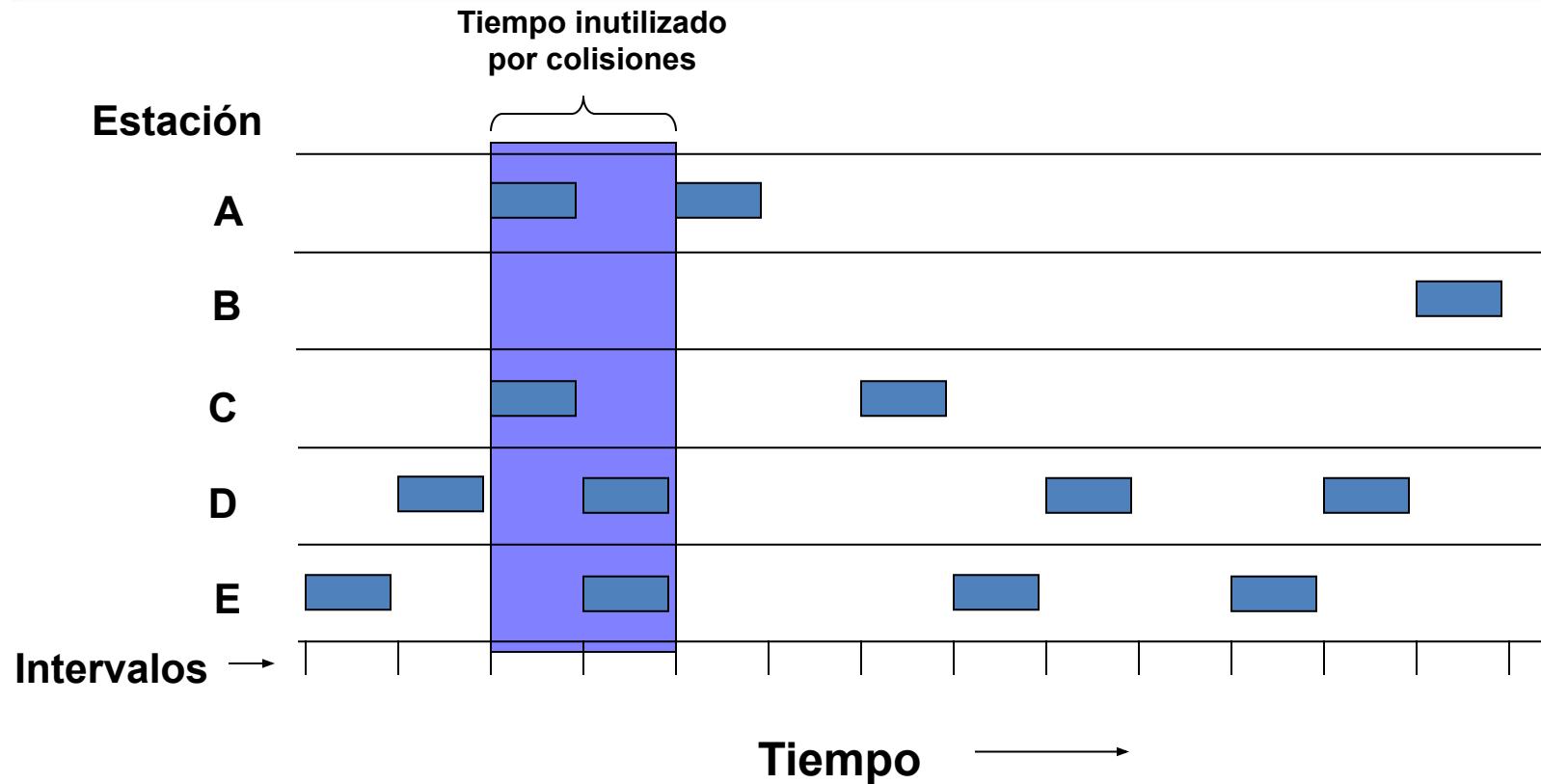


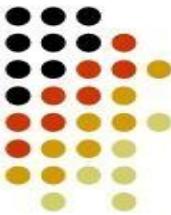
ALOHA puro





ALOHA ranurado





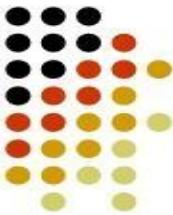
Eficiencia de ALOHA puro

⌘ Consideraciones:

- ⌘ Las tramas son de longitud fija
- ⌘ La estación tiene dos estados: escribiendo y esperando.
Se bloquea esperando la transmisión exitosa de una trama
- ⌘ Número infinito de usuarios generando nuevas tramas, según una distribución de Poisson con una media de N tramas por tiempo de trama.
 $0 < N < 1$ tramas por tiempo de trama. $N > 1$ colisión.

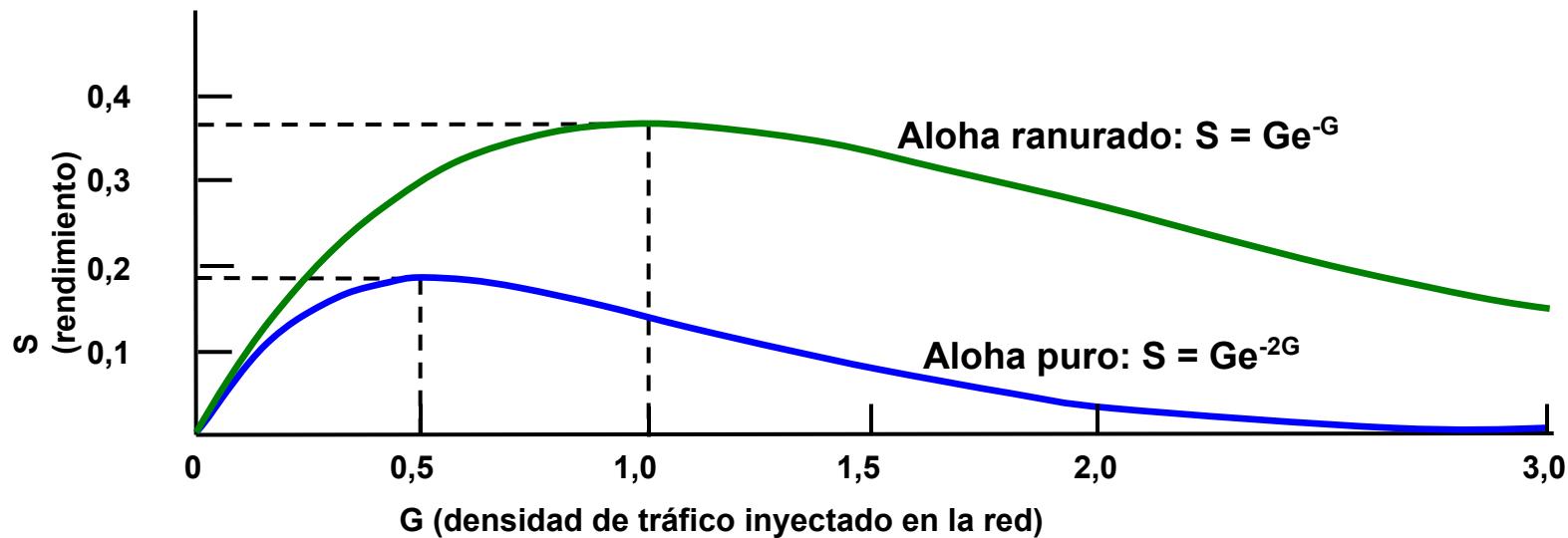
También existe la retransmisión de tramas que sufrieron colisiones por lo que $G \geq N$ (Si $N \leq 0 \Rightarrow G = N$, poca colisión). **G es intentos por tiempo de trama.**

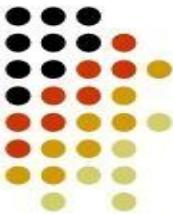
- ⌘ El rendimiento por tiempo de trama $S = GP_0$, con P_0 , la probabilidad de que la transmisión de la trama tenga éxito



Rendimiento de ALOHA puro y ranurado

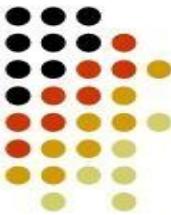
- ⌘ Estudios estadísticos demuestran que el orden, mejora el rendimiento
- ⌘ G: cantidad de transmisiones en relación al tiempo disponible.





Protocolos de acceso múltiple

1. ≈ ALOHA
2. ≈ **Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora (Carrier Sense Multiple Access Protocols)**
3. ≈ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)
4. ≈ Protocolos de Contienda Limitada (Limited-Contention Protocols)
5. ≈ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda
6. ≈ Protocolos de LANs Inalámbricas

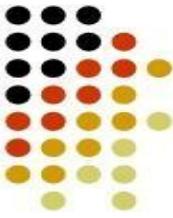


Protocolos de acceso múltiple

Los protocolos en los que las estaciones ESCUCHAN LA PORTADORA (es decir, una transmisión) y actúan de acuerdo con ello se llaman PROTOCOLOS DE DETECCIÓN DE PORTADORA

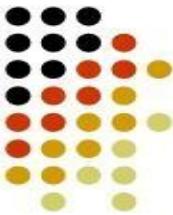
- **CSMA = (Acceso Múltiple con Detección de Portadora)**
- **CSMA 1-persistente**
- **CSMA no persistente**
- **CSMA p-persistente**
- **CSMA/CD**

Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora **CSMA**

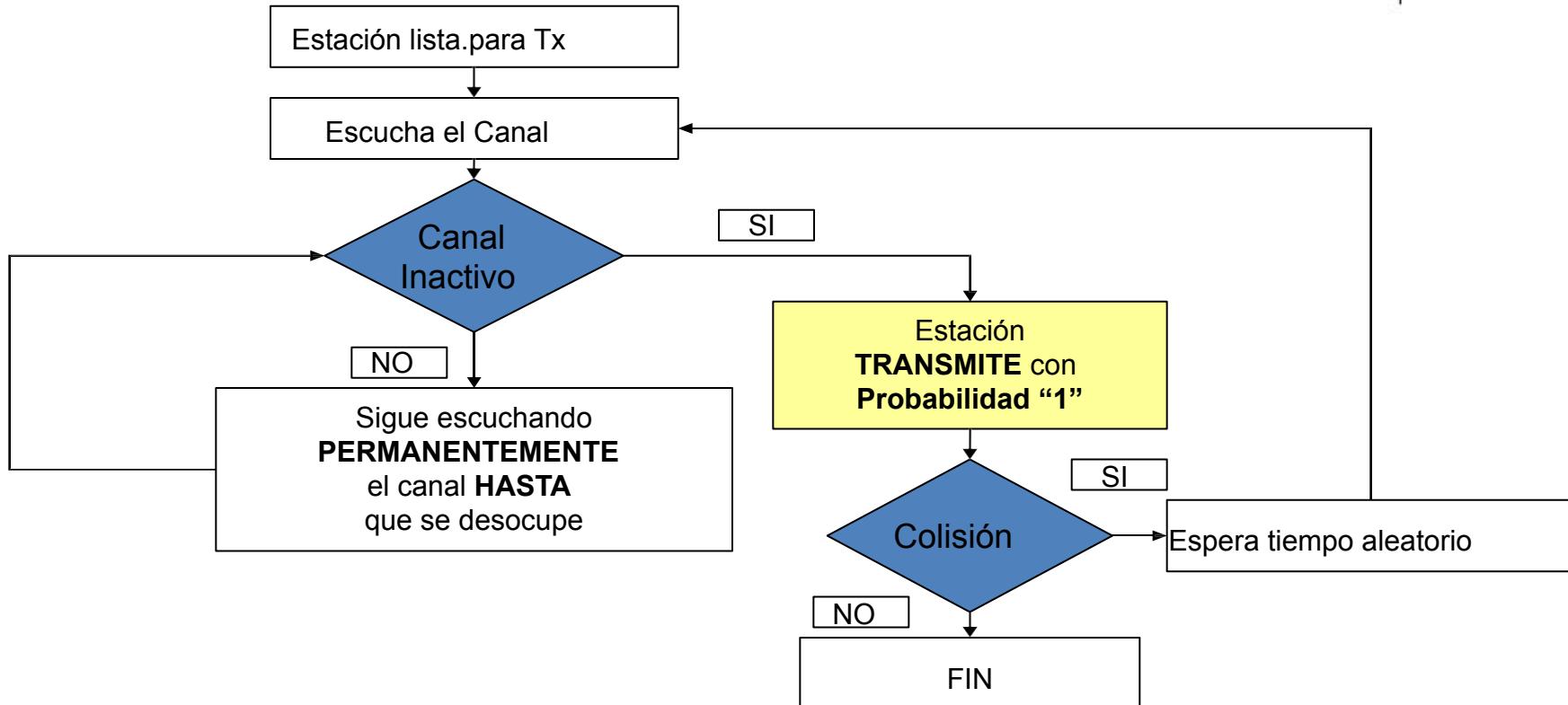


CSMA 1-persistente:

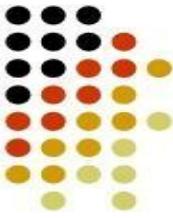
El protocolo inicia la transmisión con una probabilidad 1 cuando encuentra el canal libre después de esperar



CSMA 1-persistent



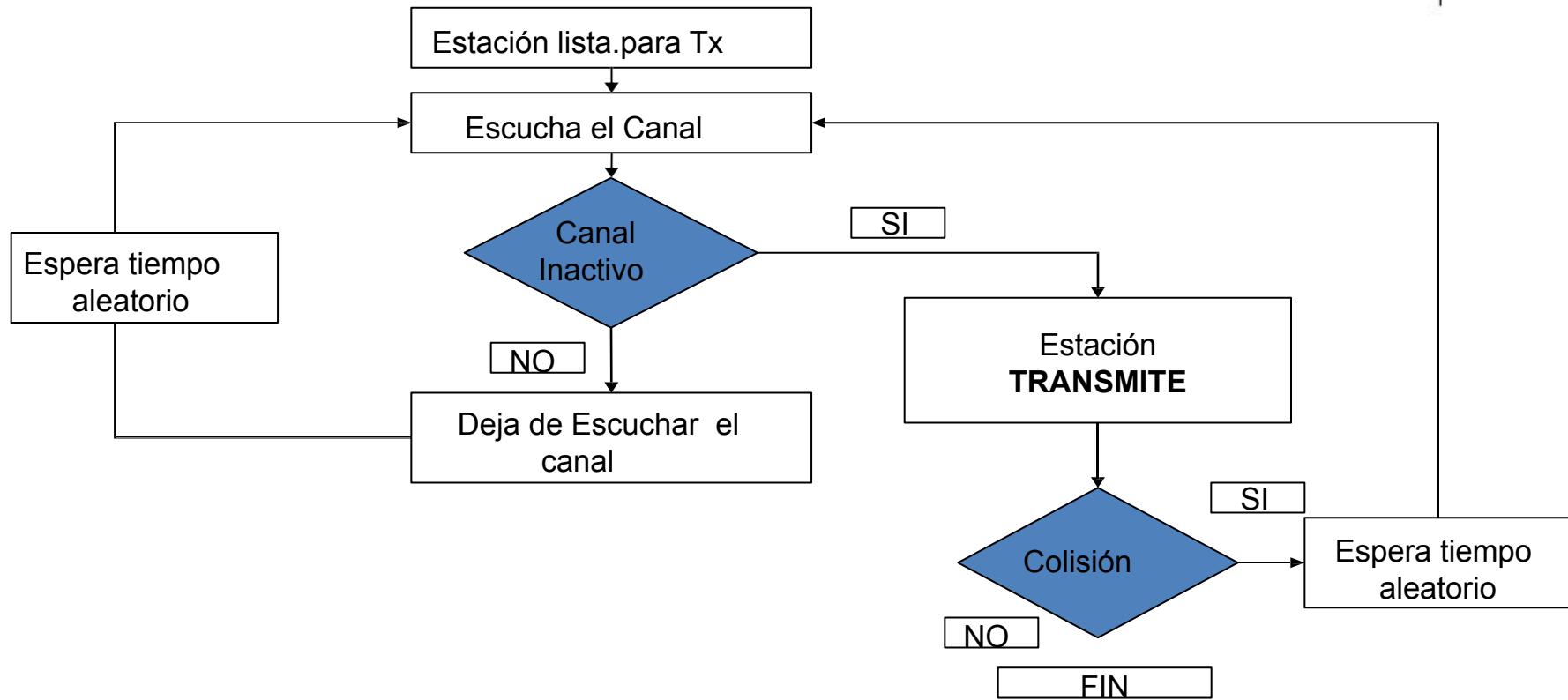
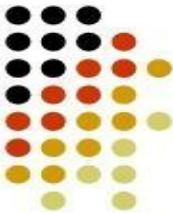
Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora **CSMA**



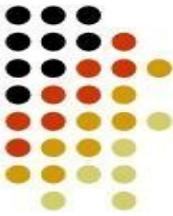
CSMA no persistente:

Antes de enviar, una estación escucha el canal. Si nadie más está transmitiendo, la estación comienza a hacerlo. Sin embargo, si el canal ya está en uso, la estación no lo escucha de manera continua a fin de tomarlo de inmediato al detectar el final de la transmisión previa. En cambio, espera un periodo aleatorio y repite el algoritmo.

CSMA no persistente



Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora **CSMA**

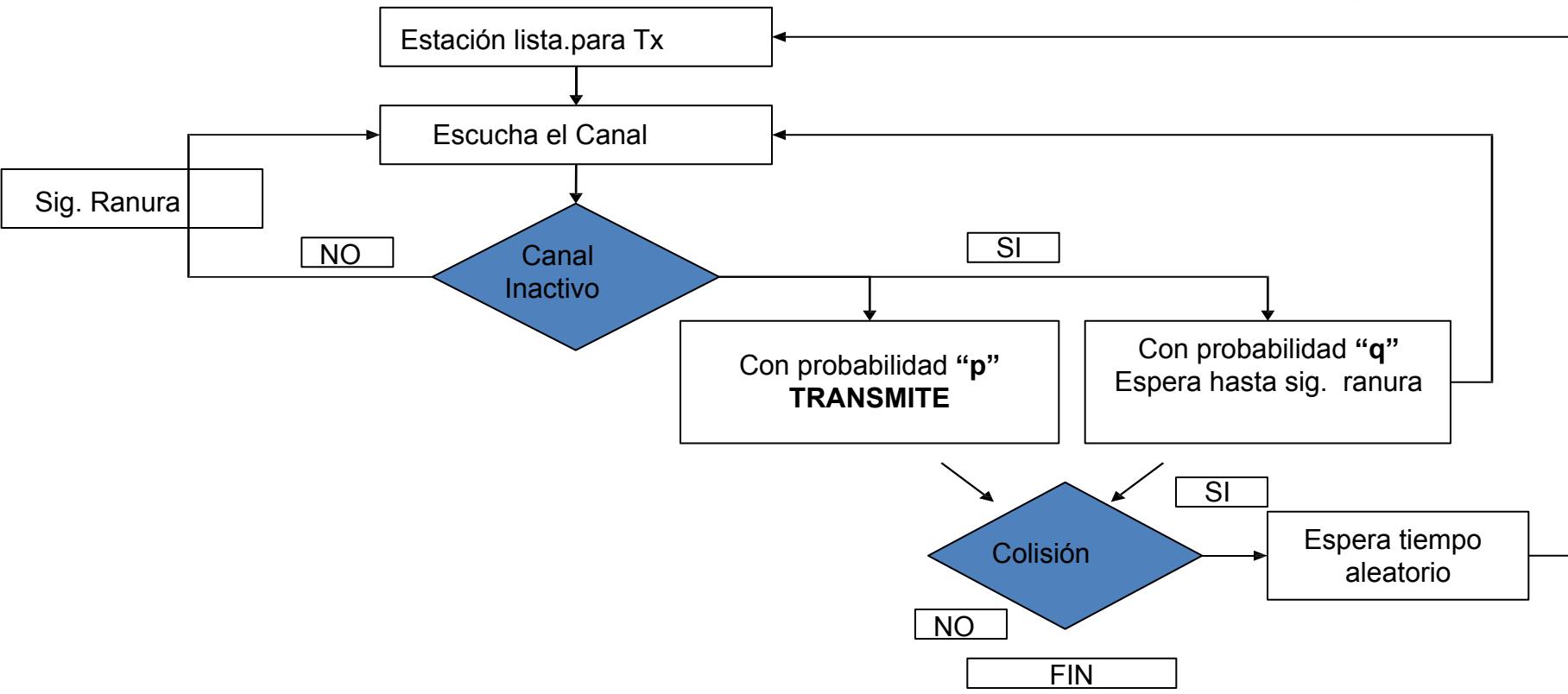
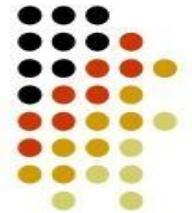


CSMA p-persistente:

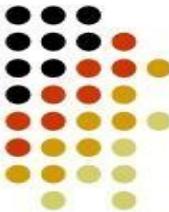
En canales de tiempo discreto, el protocolo inicia la transmisión con una probabilidad “p” cuando encuentra el canal libre/inactivo después de esperar o la difiere con probabilidad $q = (1-p)$

CSMA p-persistente

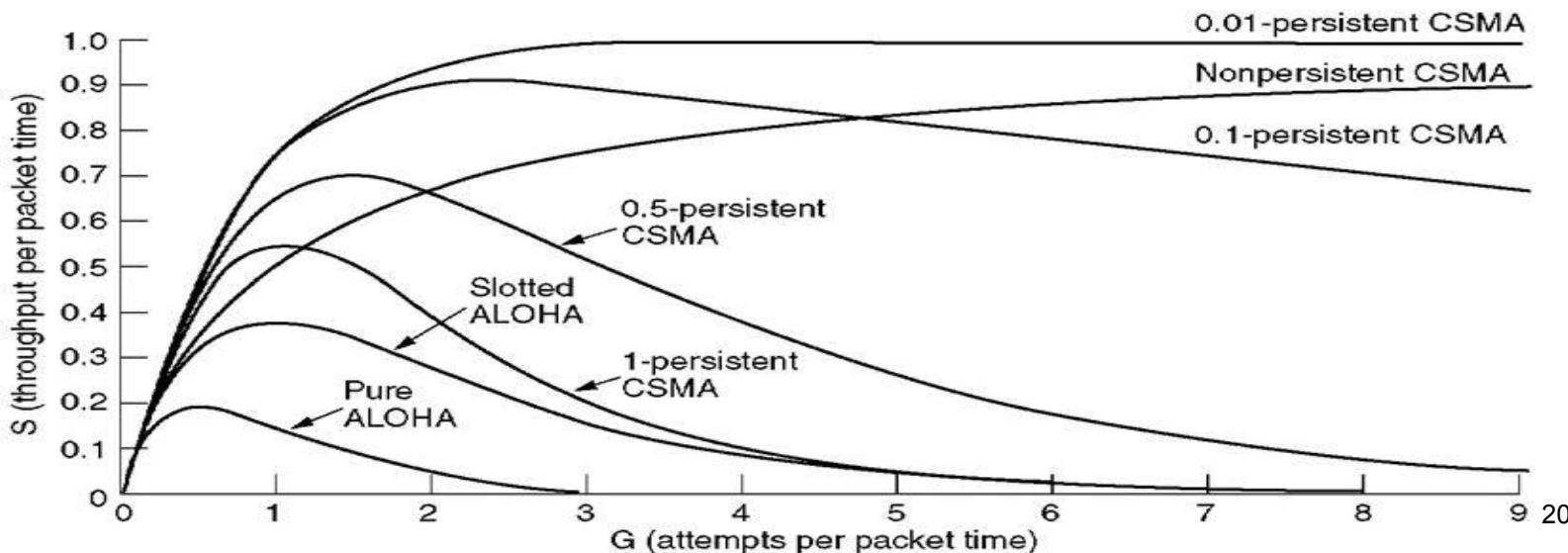
Canales RANURADOS



CSMA persistente y no persistente



⌘ Comparación de la utilización del canal en función de la carga para varios protocolos de acceso aleatorio



CSMA/CD: CSMA con detección de colisiones

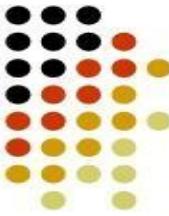


El protocolo CSMA/CD consiste en:

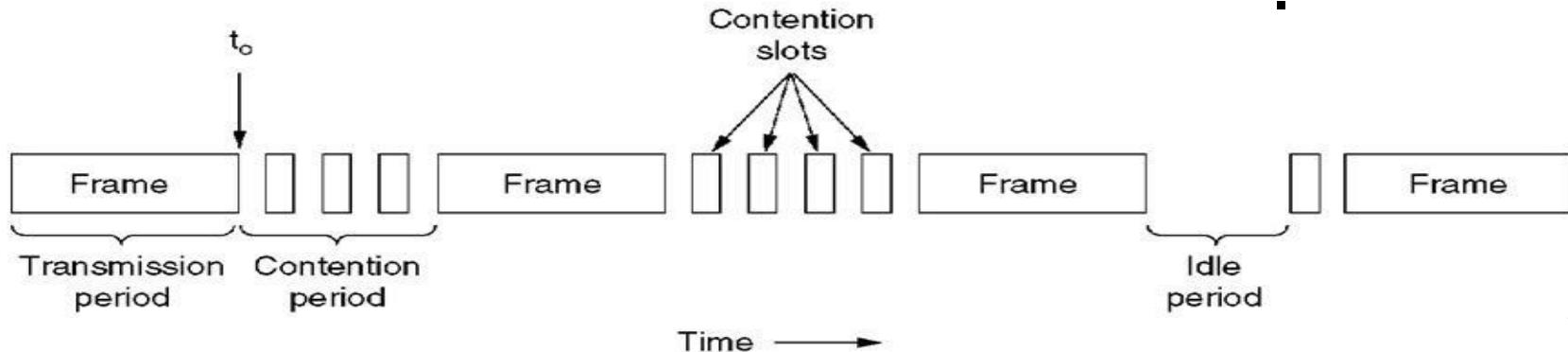
1. Oír antes de empezar a hablar (CS, Carrier Sense)
2. Hablar solo cuando los demás callan
3. Si mientras hablamos oímos que otro habla nos callamos (CD, Collision Detect)

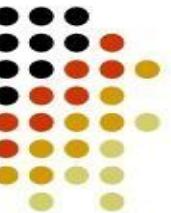
Dicho en pocas palabras el protocolo CSMA/CD consiste en ser **educado y prudente**

CSMA/CD: CSMA con detección de colisiones

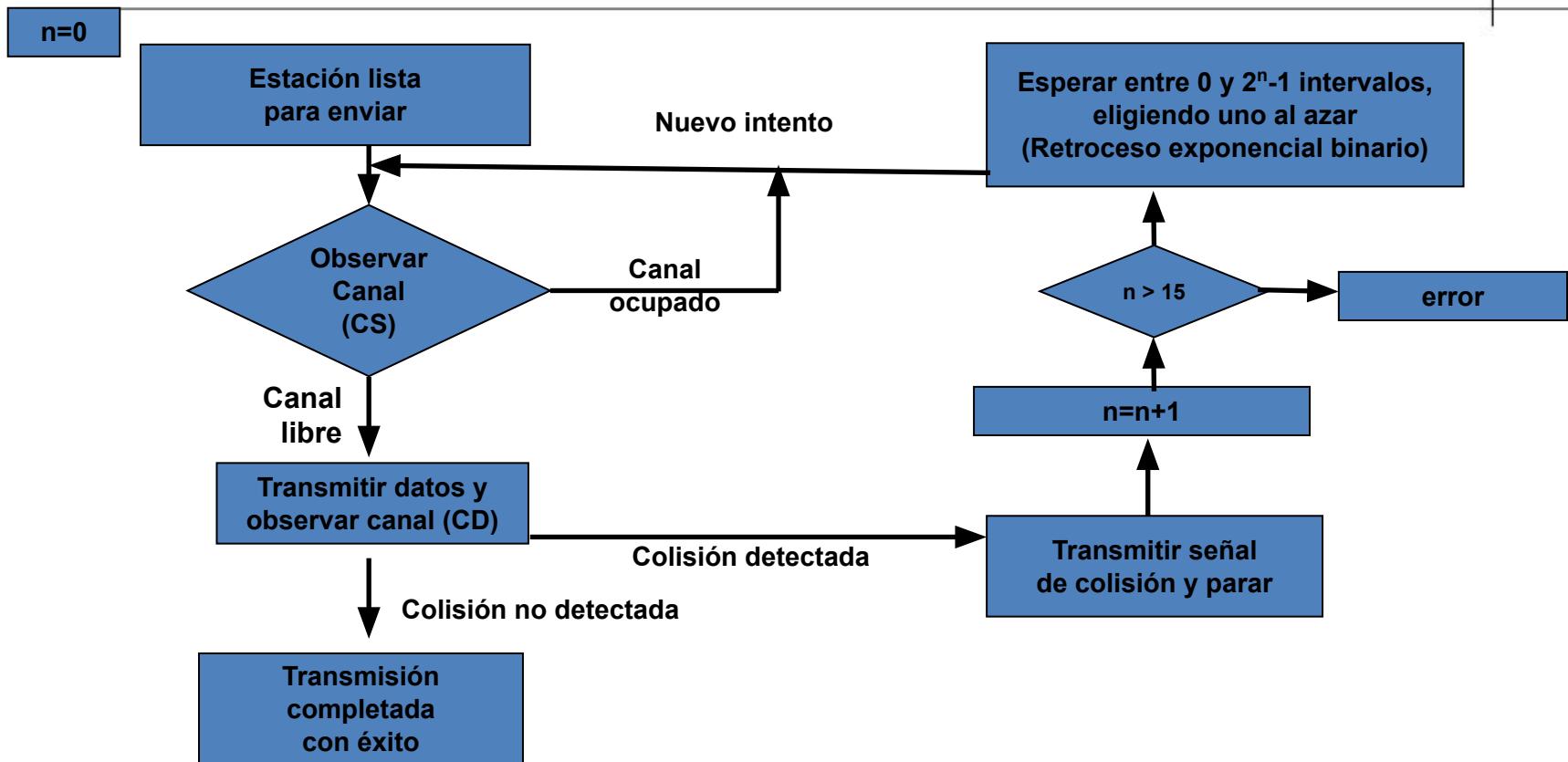


- ⌘ Al detectar la colisión, todas las estaciones que están transmitiendo se callan, esperan un tiempo aleatorio y luego lo intentan de nuevo
- ⌘ Usado en Ethernet
- ⌘ CSMA/CD puede estar en uno de tres estados: contienda, transmisión, o en reposo

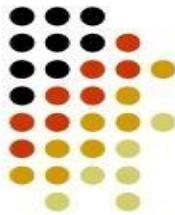




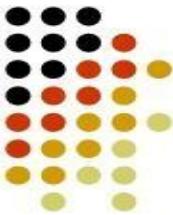
Algoritmo CSMA/CD



CSMA/CD: CSMA con detección de colisiones

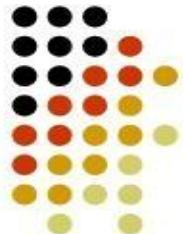


- ⌘ El tiempo que se tarda en detectar la colisión es como máximo el doble del tiempo de propagación de un extremo a otro del cable
- ⌘ Se modela el intervalo de contienda como un ALOHA ranurado (slotted) con un ancho 2τ
- ⌘ La colisión debe poder detectarse; por ello la codificación de la señal debe permitir la detección (no puede haber bits de 0 voltios)
- ⌘ El sistema es inherentemente half-duplex



Protocolos de acceso múltiple

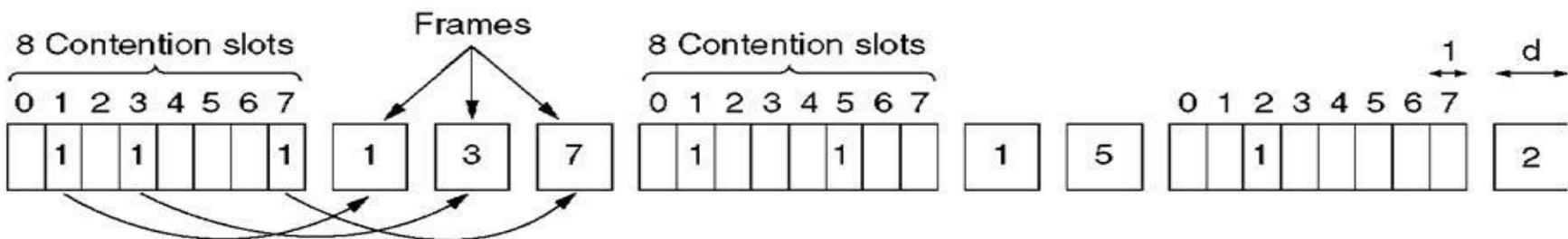
- ⌘ ALOHA
- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora
(Carrier Sense Multiple Access Protocols)
- ⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)**
- ⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited-Contention Protocols)
- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda
- ⌘ Protocolos de LANs Inalámbricas



Protocolos libres de colisiones

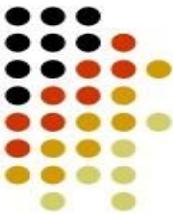
Mapa de bits

- ⌘ El protocolo básico de **mapa de bits** (bit-map) es un protocolo de reservación



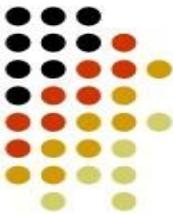
$$d = \text{bits (cantidad de datos)} \quad N = \text{Estaciones}$$

- ⌘ Eficiencia a baja carga = $d/(N+d)$
- ⌘ Eficiencia a carga alta por canal = $Nd/(Nd+N) = d/(d+1)$
- ⌘ No escala bien para miles de estaciones



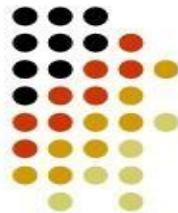
Resumen (1)

Método	Descripción
FDM	Una banda de frecuencias dedicada a cada estación
TDM	Una ventana de tiempo dedicada a cada estación
ALOHA puro	Transmisión sin sincronía en cualquier instante
ALOHA ranurado	Transmisión aleatoria en ventanas de tiempo bien definidas. Duplica el rendimiento de ALOHA puro
CSMA - 1 persistente	Acceso múltiple con detección de portadora estándar con probabilidad igual a 1. El rendimiento decae exponencialmente con el aumento de carga



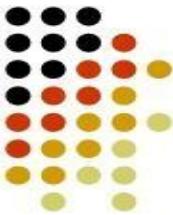
Resumen (2)

Método	Descripción
CSMA no persistente	Retardo aleatorio después de detectar el canal ocupado. El rendimiento mejora con la carga; pero el retardo aumenta mucho
CSMA p-persistente	CSMA pero con probabilidad p de persistir. Con $p < 1$ cambia rendimiento por retardo
CSMA/CD	CSMA, pero aborta al detectar la colisión
Mapa de bits	Usa un mapa de bits para turnarse en forma de margarita
Cuenta binaria regresiva Ethernet	CSMA/CD con espera exponencial binaria



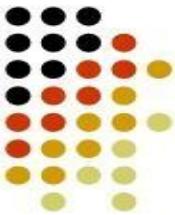
Protocolos de acceso múltiple

- ⌘ ALOHA
- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora (Carrier Sense Multiple Access Protocols)
- ⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)
- ⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited- Contention Protocols)
- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda
- ⌘ Protocolos de LANs Inalámbricas**



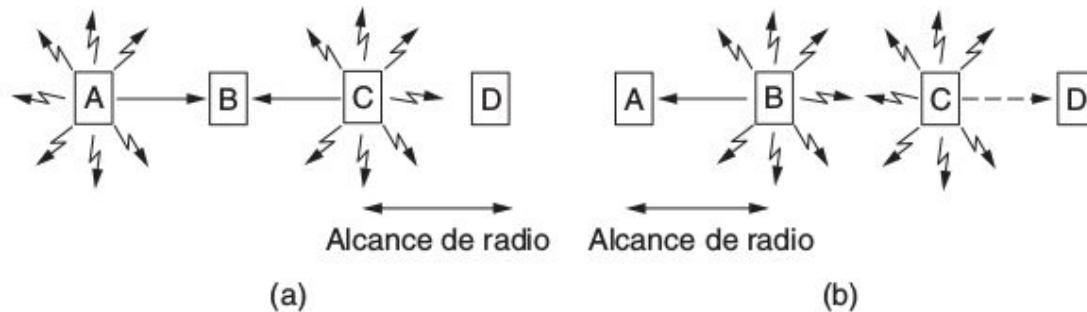
Protocolos para LANs inalámbricas

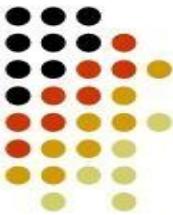
- Sistema de computadoras portátiles que se comunican por ondas de radio
- Inconvenientes
 - Sistemas inalámbricos no pueden detectar la colisión en el momento en que ocurre
 - Rango de radio limitado
- Enfoque CSMA? Escuchar si hay otras transmisiones y sólo transmitir si nadie lo está haciendo
 - Problema estación oculta
 - Problema estación expuesta



Protocolos para LANs inalámbricas

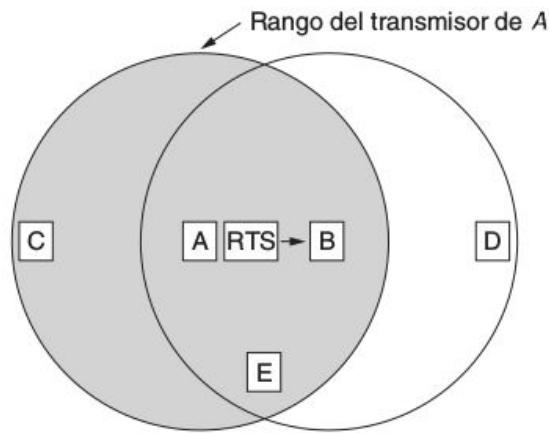
- Problema estación oculta
- Problema estación expuesta
- Protocolo MACA (Acceso Múltiple con Prevención de Colisiones)



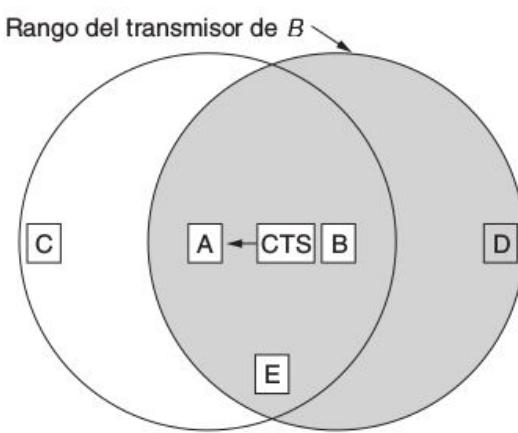


Protocolos de LANs inalámbricas

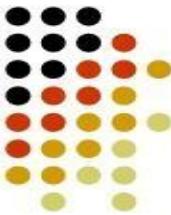
- Emisor estimula al receptor para enviar una trama corta, de manera que las estaciones cercanas detecten esta transmisión y eviten transmitir durante la siguiente trama (trama grande)



(a)

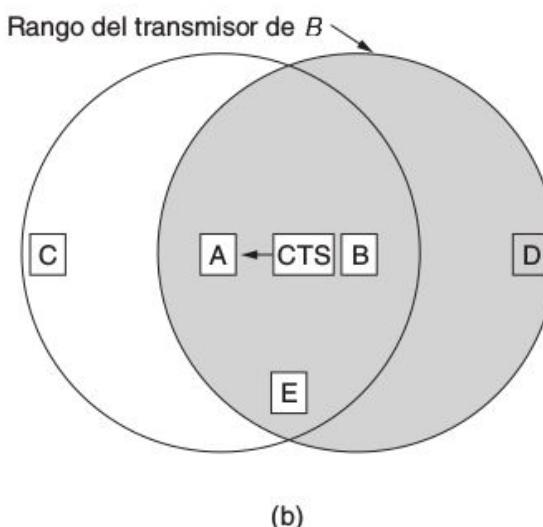
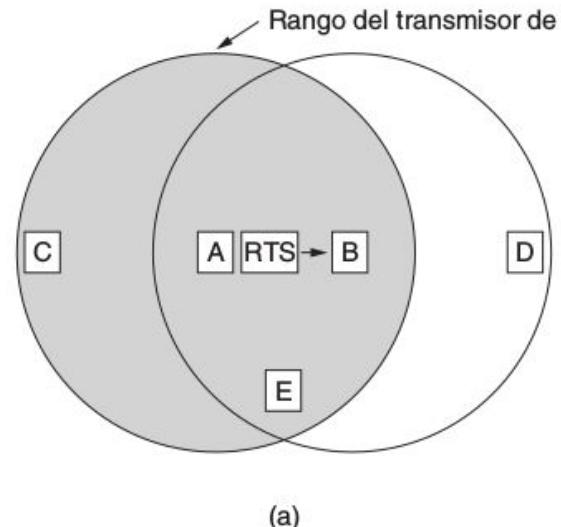


(b)

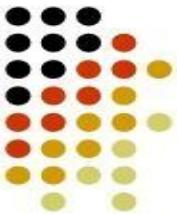


Protocolos de LANs inalámbricas

- A comienza enviando una trama RTS (Solicitud de Envío, Request To Send) a B
- Esta trama corta contiene la longitud de la trama de datos que seguirá después.
- B contesta con una trama CTS (Libre para Envío, Clear To Send)
- La trama CTS contiene la longitud de los datos (que copia de la trama RTS)
- Al recibir la trama CTS, A comienza a transmitir.

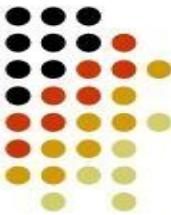


Protocolo MACA
(a) Envío RTS a B.
(b) B responde con un CTS a A.

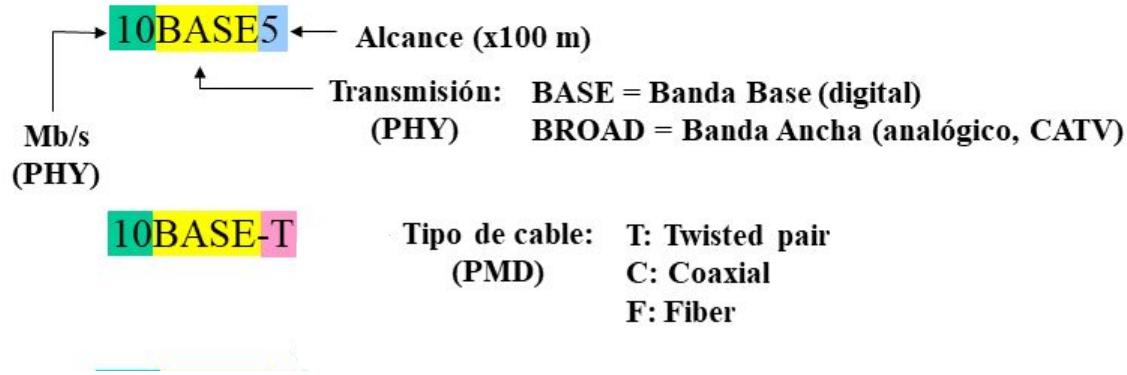


Ethernet

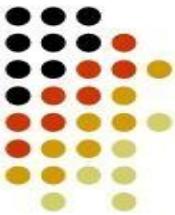
- Cableado Ethernet
- Codificación Manchester
- Protocolo de la subcapa MAC Ethernet
- Algoritmo de retroceso exponencial binario
- Rendimiento de ethernet
- Conmutación ethernet
- Fast Ethernet
- Gigabit Ethernet
- IEEE 802.2: Control Lógico de enlace
- Retrospectiva de Ethernet



Cableado Ethernet: denominaciones



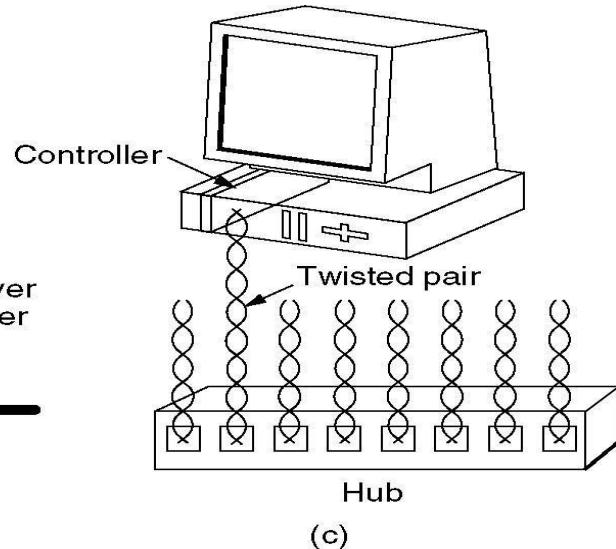
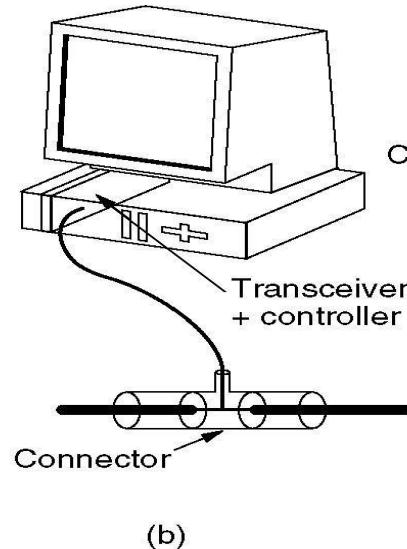
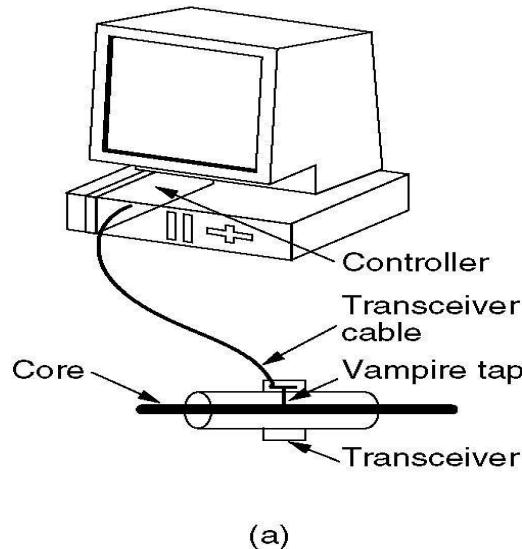
Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings

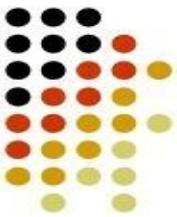


Cableado Ethernet (2)

Tipos de cableado Ethernet

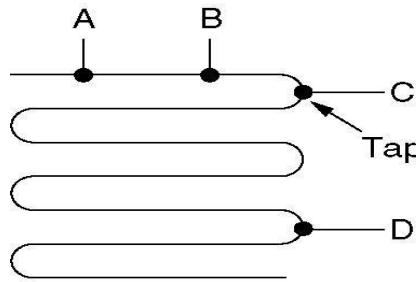
(a) 10Base5, (b) 10Base2, (c) 10Base-T.



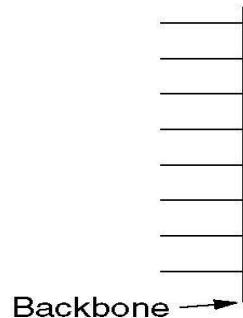


Cableado Ethernet (3)

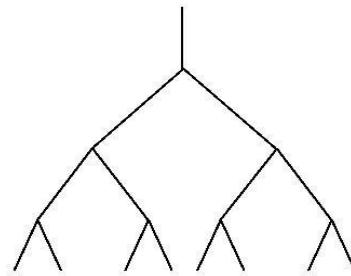
Topologías de cables. (a) Lineal, (b)Dorsal, (c) Árbol, (d) Segmentada.



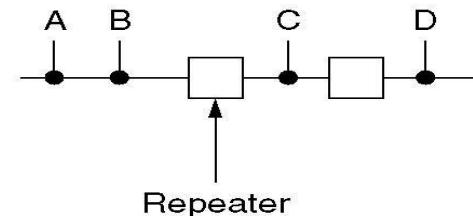
(a)



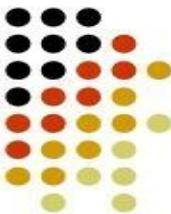
(b)



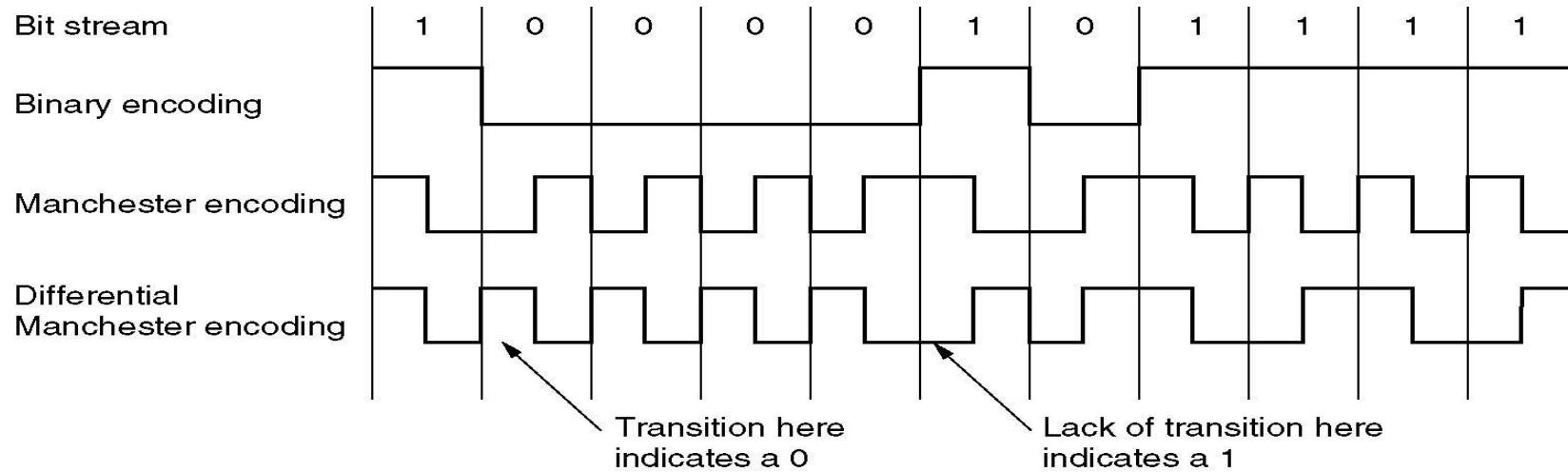
(c)



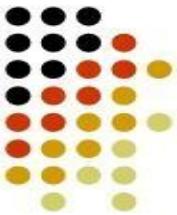
(d)



Cableado Ethernet (4)



- (a) Codificación binaria
- (b) Codificación Manchester
- (c) Codificación Manchester Diferencial



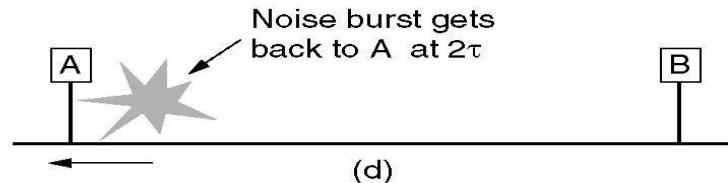
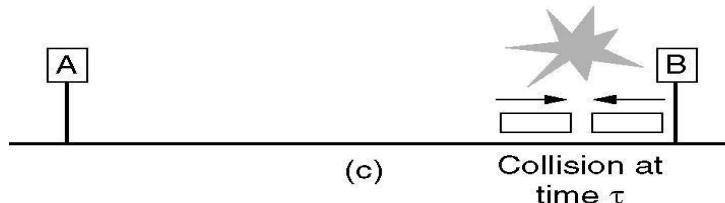
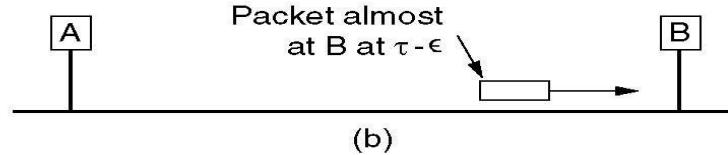
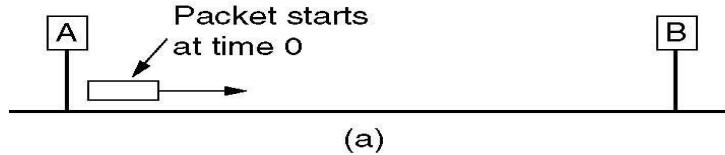
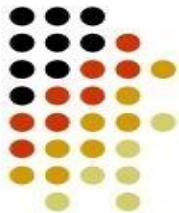
Protocolo de subcapa MAC

Formatos de trama

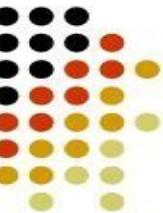
- (a) DEC-Intel-Xerox: DIX Ethernet
- (b) IEEE 802.3.

Bytes	8	6	6	2	0-1500	0-46	4	
(a)	Preamble	Destination address	Source address	Type	SS Data SS	Pad	Check-sum	
(b)	Preamble	S o F	Destination address	Source address	Length	SS Data SS	Pad	Check-sum

Protocolo de subcapa MAC de Ethernet (2)

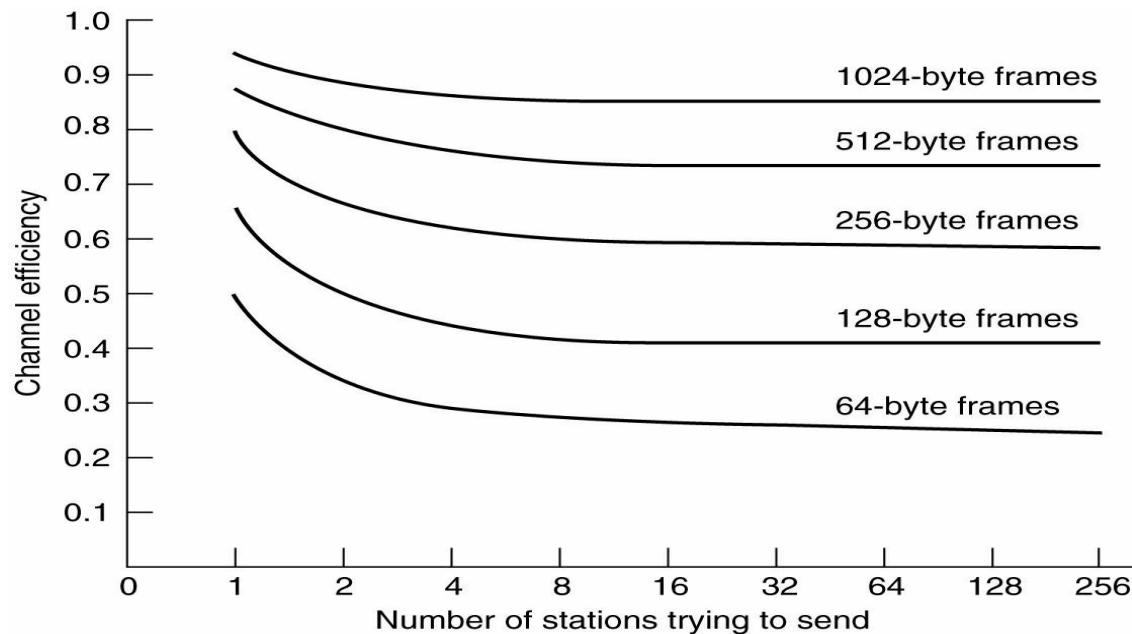


Detección de colisión puede tardar tanto como 2τ

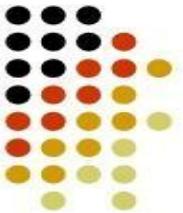


Rendimiento de Ethernet

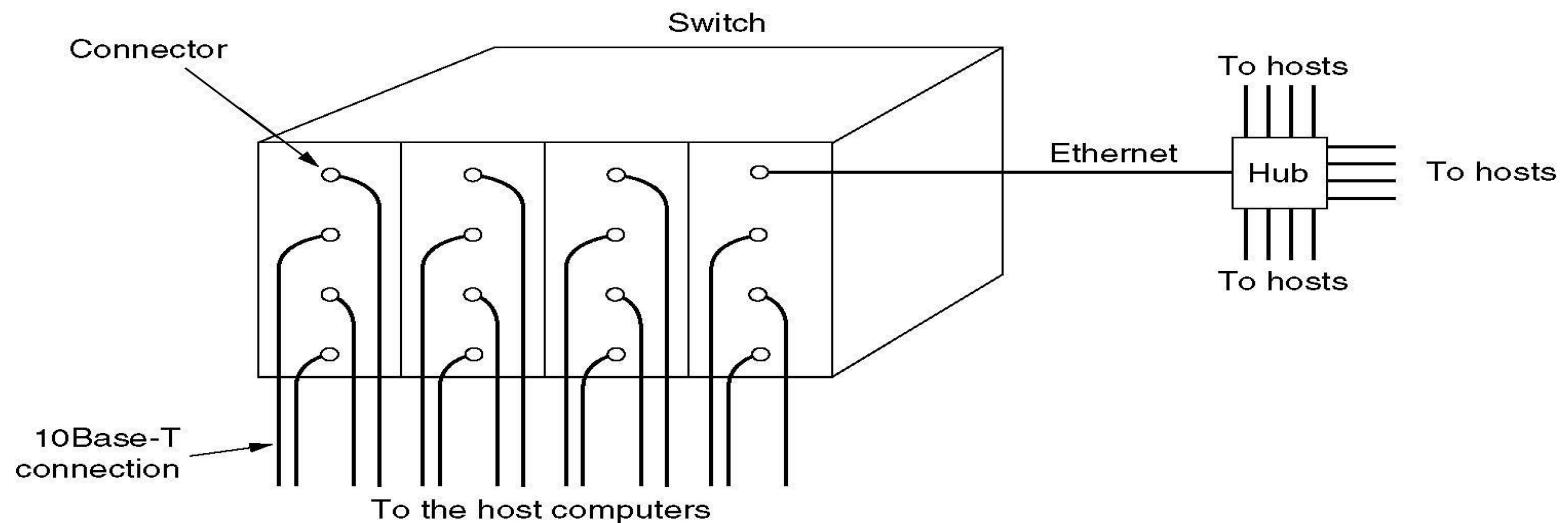
Eficiencia de Ethernet a 10 Mbps con ranuras de tiempo de 512-bit.



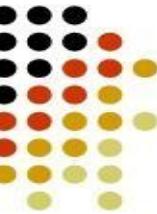
Commutación Ethernet



Un ejemplo simple de commutación Ethernet.



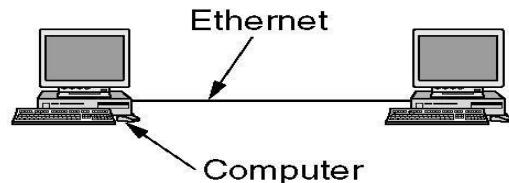
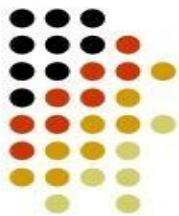
Fast Ethernet



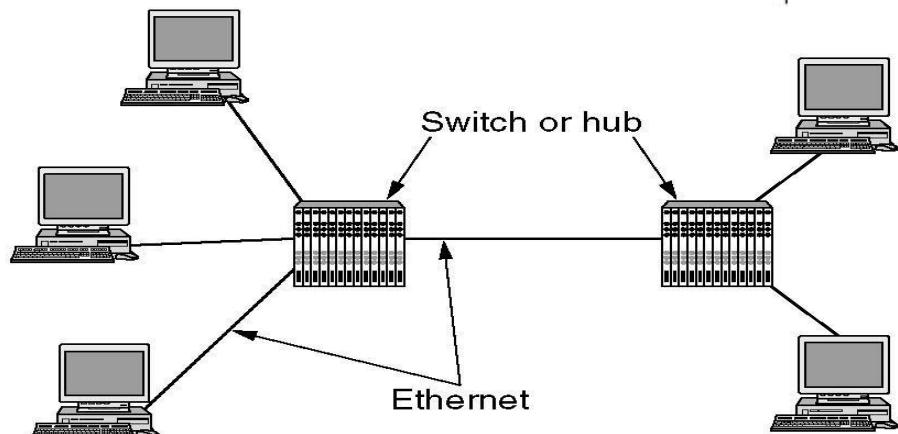
El cableado original de Fast Ethernet.

Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

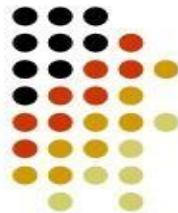
Gigabit Ethernet



(a)



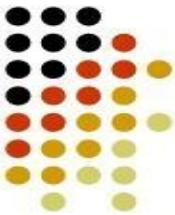
(b)



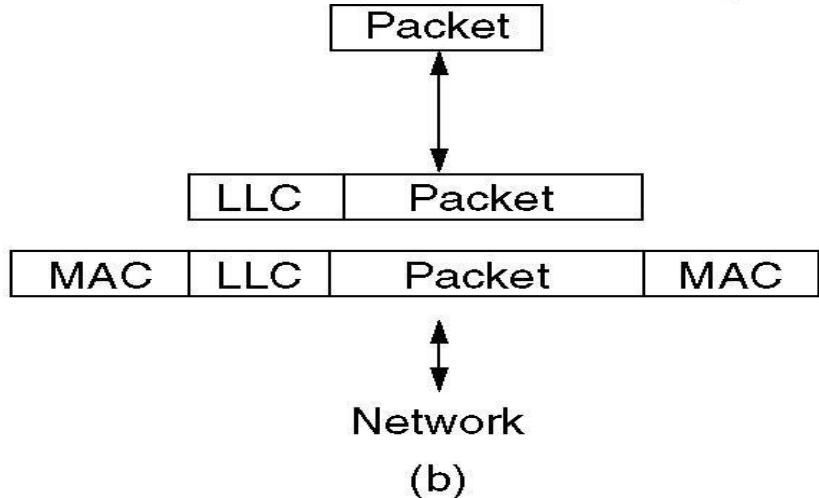
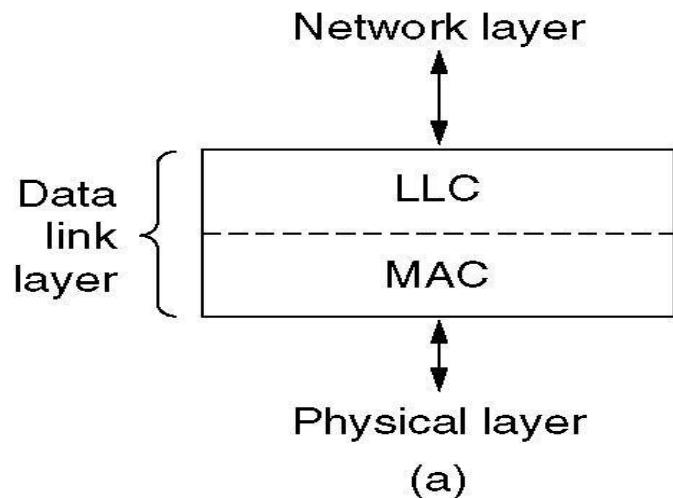
Gigabit Ethernet (2)

Cableado Gigabit Ethernet.

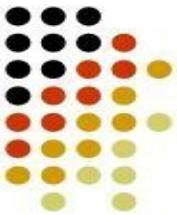
Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP



IEEE 802.2: Logical Link Control



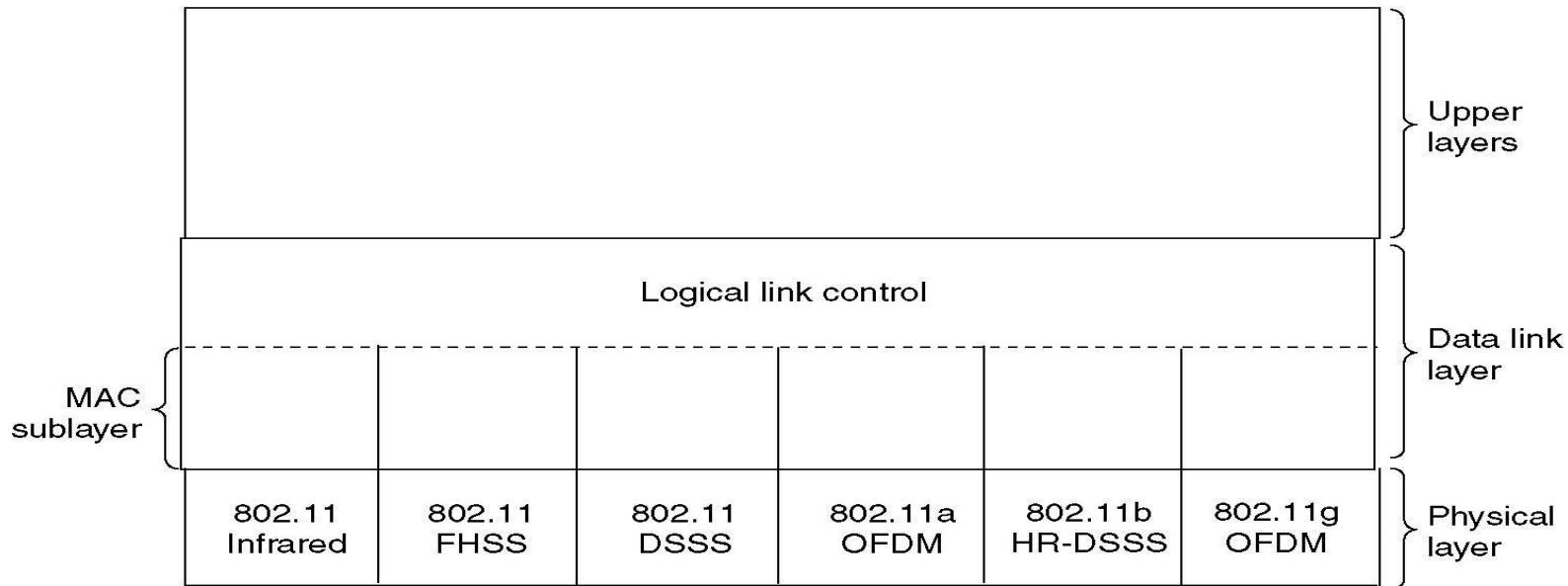
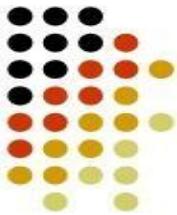
(a) Posición de LLC. (b) Formatos del protocolo.



LANs inalámbricas

- La pila de protocolos 802.11
- La capa física del 802.11
- El protocolo de subcapa MAC 802.11
- La estructura de la trama 802.11
- Servicios

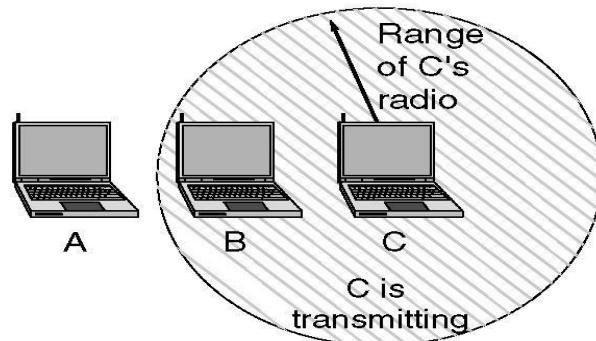
La pila de protocolos 802.11





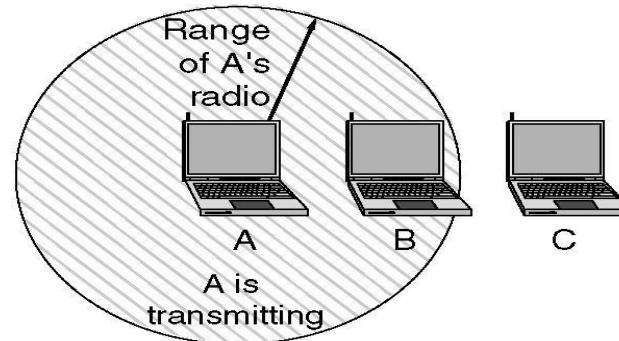
El protocolo de la subcapa MAC 802.11

A wants to send to B
but cannot hear that
B is busy



(a)

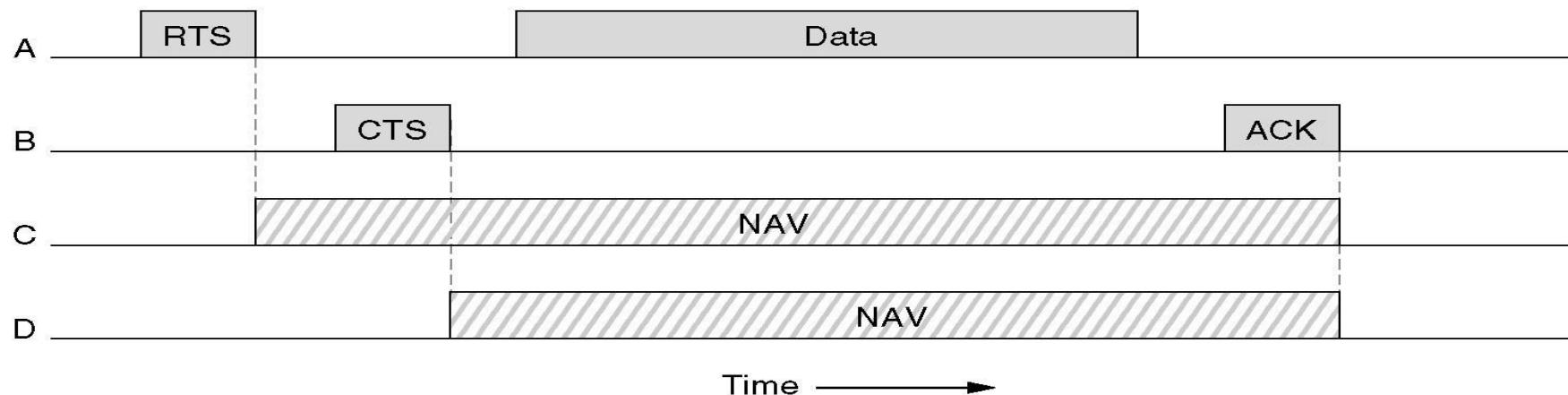
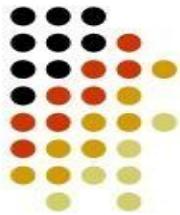
B wants to send to C
but mistakenly thinks
the transmission will fail



(b)

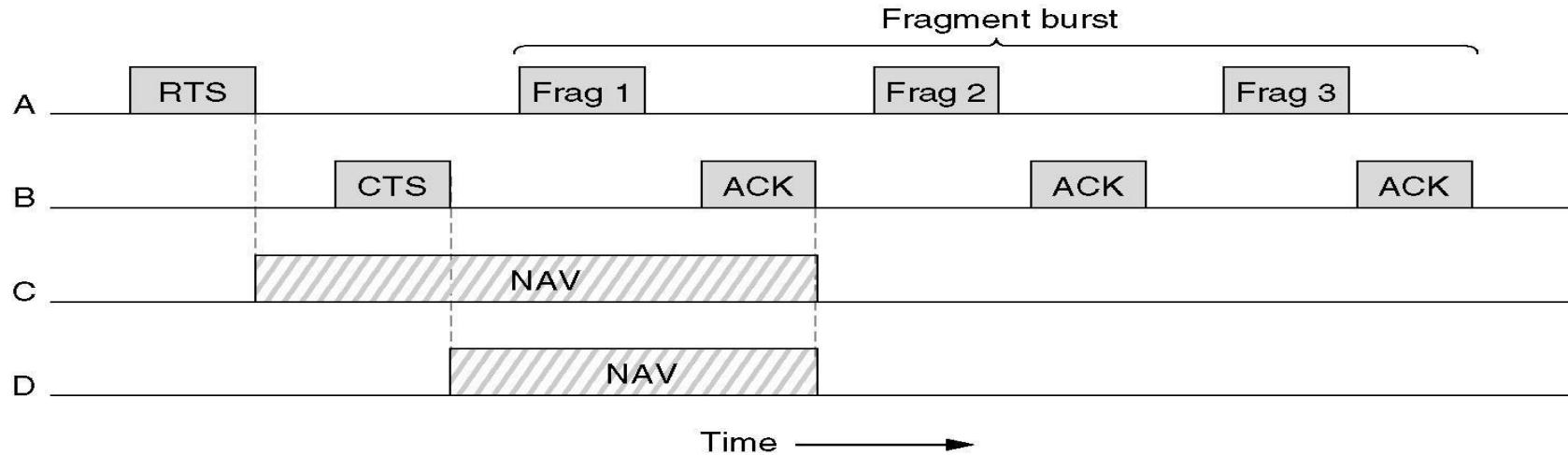
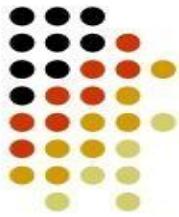
- (a) El problema de la estación oculta.**
- (b) El problema de la estación expuesta.**

Protocolo de la subcapa MAC

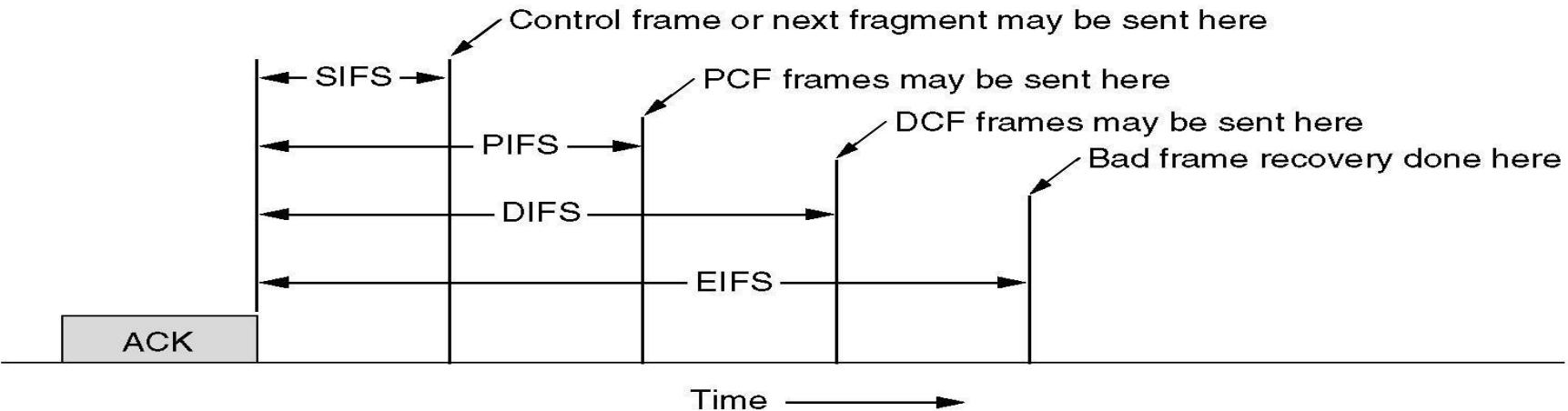
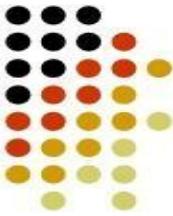


Protocolo de la subcapa MAC

802.11 (2)

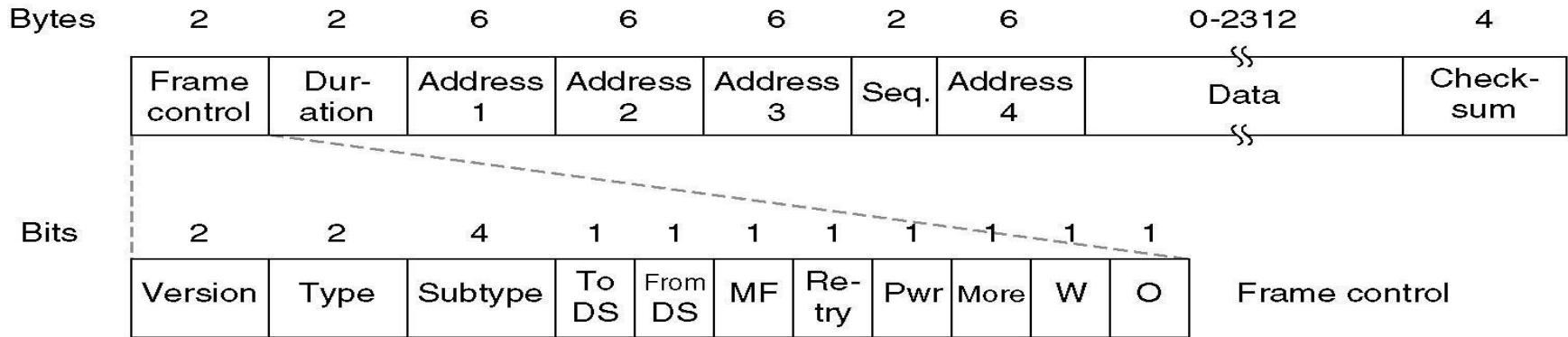
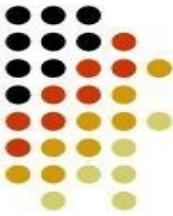


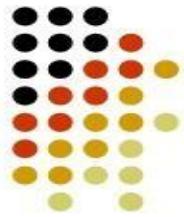
Protocolo de la subcapa MAC 802.11



Estructura de la trama

802.11

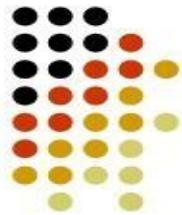




Servicios 802.11

Distribución de servicios

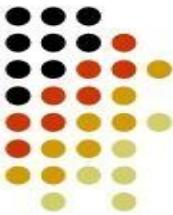
- Asociación
- Desasociación
- Reasociación
- Distribución
- Integración



Servicios 802.11

Servicios intracélulas

- Autenticación
- Desautenticación
- Privacidad
- Entrega de datos



Referencias

⌘ Tanenbaum, Andrew S.. **Redes de Computadoras** 4^a Edición