



REDES

Grados Ing. Informática / Ing. de Computadores / Ing. del Software
Universidad Complutense de Madrid

TEMA 5. Acceso múltiple y redes de área local

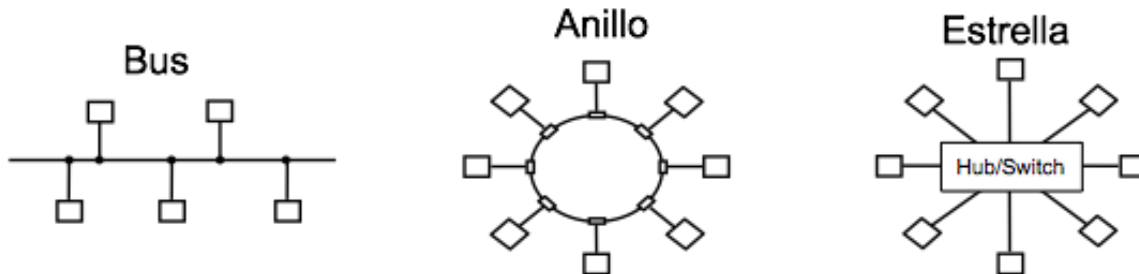
PROFESORES:

Rafael Moreno Vozmediano
Rubén Santiago Montero
Juan Carlos Fabero Jiménez

Introducción

• Redes de área local (LAN)

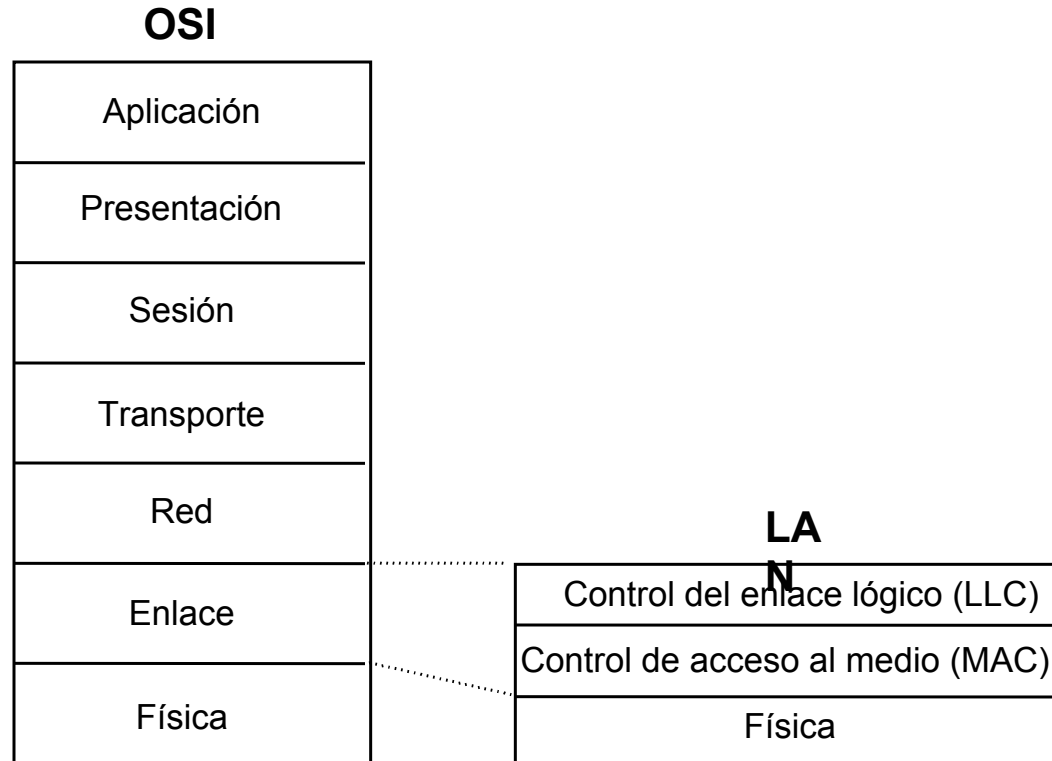
- Redes de carácter privado para interconectar dispositivos en oficina, hogar o edificio
 - Suelen abarcar distancias desde decenas a centenas de metros
- Pueden ser de dos tipos y presentar diversas topologías
 - Redes LAN de canal compartido (o de difusión)
 - Topología en bus
 - Topología en anillo
 - Topología en estrella (con hub de cable o inalámbrico)
 - Redes LAN conmutadas
 - Topología en estrella (con switch)



- El problema del acceso múltiple en redes LAN de canal compartido (o de difusión)
 - Cuando dos o más estaciones acceden de forma simultánea al medio de transmisión compartido se produce una **colisión**
 - Necesidad de mecanismos de **control de acceso al medio** (MAC = Medium Access Control) para evitar o resolver el problema de las colisiones

Introducción

- **Arquitectura de redes LAN vs. arquitectura OSI**



- **Capa física**
 - Topología, medio de transmisión, velocidad de transmisión, tipo de codificación, etc.
- **Capa MAC (Medium Access Control)**
 - Control del acceso al canal compartido para evitar o resolver el problema de las colisiones.
- **Capa LLC (Logic Link Control)**
 - Capa de enlace de las redes de área local: control de errores y flujo

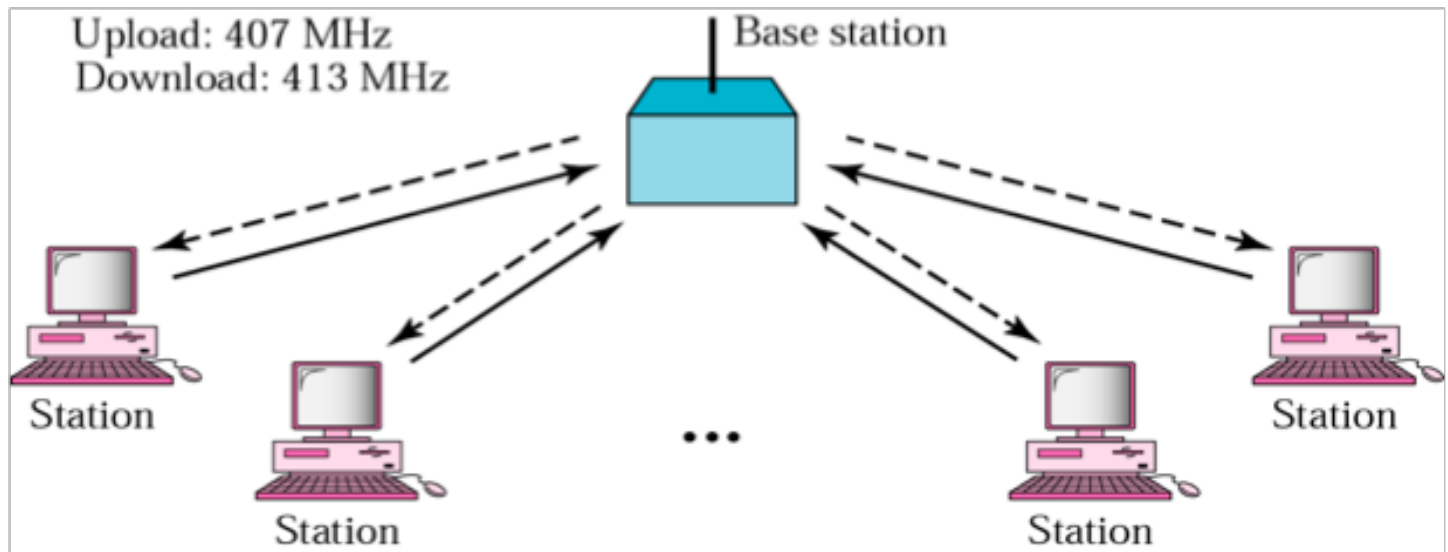
Mecanismos de control de acceso al medio

- **Clasificación de mecanismos MAC**
 - Con posibilidad de colisión (acceso aleatorio)
 - Aloha
 - CSMA
 - CSMA/CD (se estudia en Ethernet)
 - CSMA/CA (se estudia en WiFi)
 - Libres de colisión (acceso controlado)
 - Mecanismos de paso de testigo
 - Mecanismos de reserva
 - Mecanismos de encuesta

Mecanismos de control de acceso al medio

• Red Aloha

- Desarrollada en la Universidad de Hawaii en la década de los 70
 - Red de paquetes de radio para comunicaciones inalámbricas entre los computadores y la estación base
 - Canales de datos
 - Ascendente (de computador a estación base): banda 407 MHz, 9600 bps
 - Descendente (de estación base a computador): banda 413 MHz, 9600 bps



- El problema de las colisiones en la red Aloha
 - Cuando dos computadores transmiten simultáneamente hacia la estación base se produce una colisión
 - Necesario un mecanismo de control de acceso al medio (MAC) para resolverlo
 - La red aloha utiliza un protocolo MAC con posibilidad de colisión distribuido

Mecanismos de control de acceso al medio

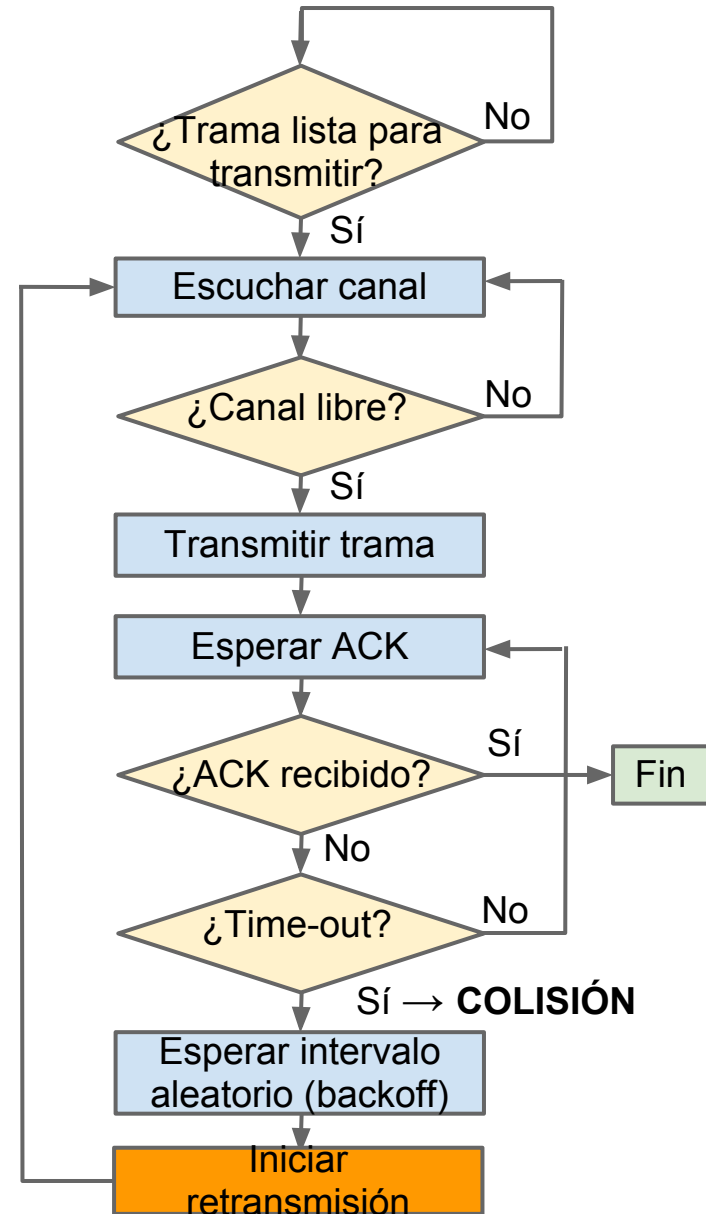
- **Red Aloha (cont.)**

- Funcionamiento del protocolo MAC de la red Aloha
 - Cuando un computador tiene una trama de datos lista para transmitir, la transmite inmediatamente
 - Cuando la estación base recibe una trama de datos correcta, devuelve una confirmación al emisor
 - Si el computador no recibe esta confirmación dentro de un intervalo de tiempo determinado (time-out), se entiende que la trama ha sufrido una colisión.
 - En este caso es necesario retransmitir las tramas que han sufrido colisión
 - Si los computadores involucrados en la colisión retransmiten sus tramas inmediatamente después de producirse el time-out, se producirá una segunda colisión
 - Para evitar este problema, los computadores tienen que dejar transcurrir un intervalo aleatorio de tiempo adicional antes de la retransmisión
- El problema de los retardos en la red Aloha
 - Debido a las distancias entre el computador y la estación base (varias centenas de km), los retardos de propagación pueden llegar a ser de varios milisegundos
 - El tiempo que es necesario esperar para saber si una trama sufrió colisión y así retransmitirla es un intervalo considerable que hace disminuir el rendimiento del protocolo.

Mecanismos de control de acceso al medio

• Protocolo CSMA

- CSMA = *Carrier Sense Multiple Access* (Acceso múltiple con detección de portadora)
 - Protocolo MAC con posibilidad de colisión distribuido
 - Basado en Aloha, pero incluyendo la detección de portadora
 - Válido para redes con retardos pequeños (p.ej. LAN de cable con topología bus)
- CSMA no elimina totalmente el problema de las colisiones
 - Cuando dos o más computadores transmiten una trama de forma simultánea se produce una colisión
 - Para resolver las colisiones, se utiliza un mecanismo similar al protocolo Aloha



Mecanismos de control de acceso al medio

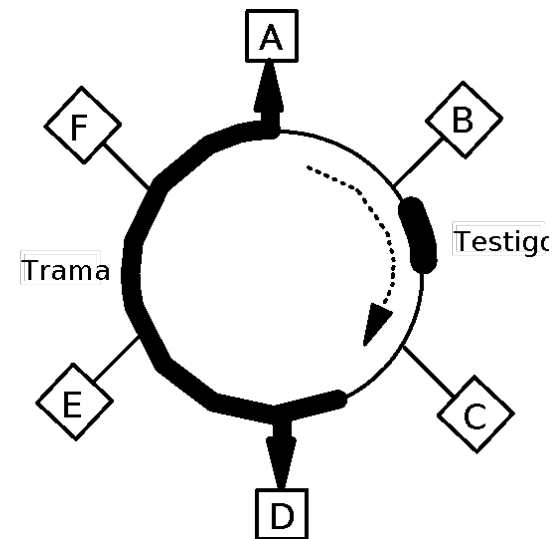
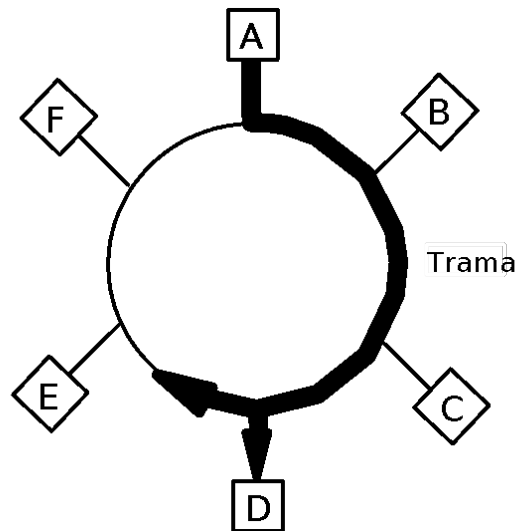
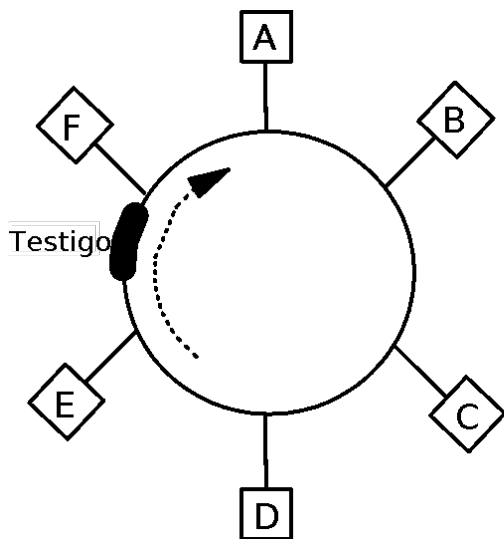
- **Protocolo CSMA (cont.)**

- El problema de la persistencia
 - El protocolo CSMA explicado anteriormente se denomina CSMA persistente
 - Cuando un computador quiere transmitir, si el canal está ocupado se queda escuchando de forma persistente a la espera de que quede libre. En el momento en que el canal queda libre transmite inmediatamente.
 - En este caso, si hay dos o más computadores a la espera de que el canal quede libre para poder transmitir una trama, éstas sufrirán una colisión con una probabilidad del 100%
 - Existen otras variantes del protocolo CSMA
 - CSMA no persistente
 - Cuando el canal está ocupado, el computador no se queda a la espera de que quede libre, sino que deja transcurrir un intervalo aleatorio antes de volver a escuchar
 - CSMA p-persistente
 - Si el canal está ocupado, el computador espera a que quede libre
 - Cuando el canal queda libre
 - Con una probabilidad p , el computador transmite su trama inmediatamente
 - Con una probabilidad $q=1-p$, el computador deja transcurrir un intervalo de tiempo (denominado ranura temporal) y de nuevo vuelve a comprobar si el canal está libre antes de transmitir

Mecanismos de control de acceso al medio

- **Mecanismos de paso de testigo**

- Mecanismo MAC libre de colisiones y distribuido
- Funcionamiento:
 - Se basa en una trama con un formato especial, llamada testigo,
 - Esta trama va pasando de un computador a otro de forma rotatoria.
 - Cuando un computador desea transmitir debe esperar a recibir el testigo
 - En cada instante, sólo puede transmitir el computador que está en posesión del testigo (no hay colisiones)
 - El tiempo de posesión del testigo suele estar limitado por un tiempo máximo de transmisión
- Ejemplo: token ring (paso de testigo en anillo)

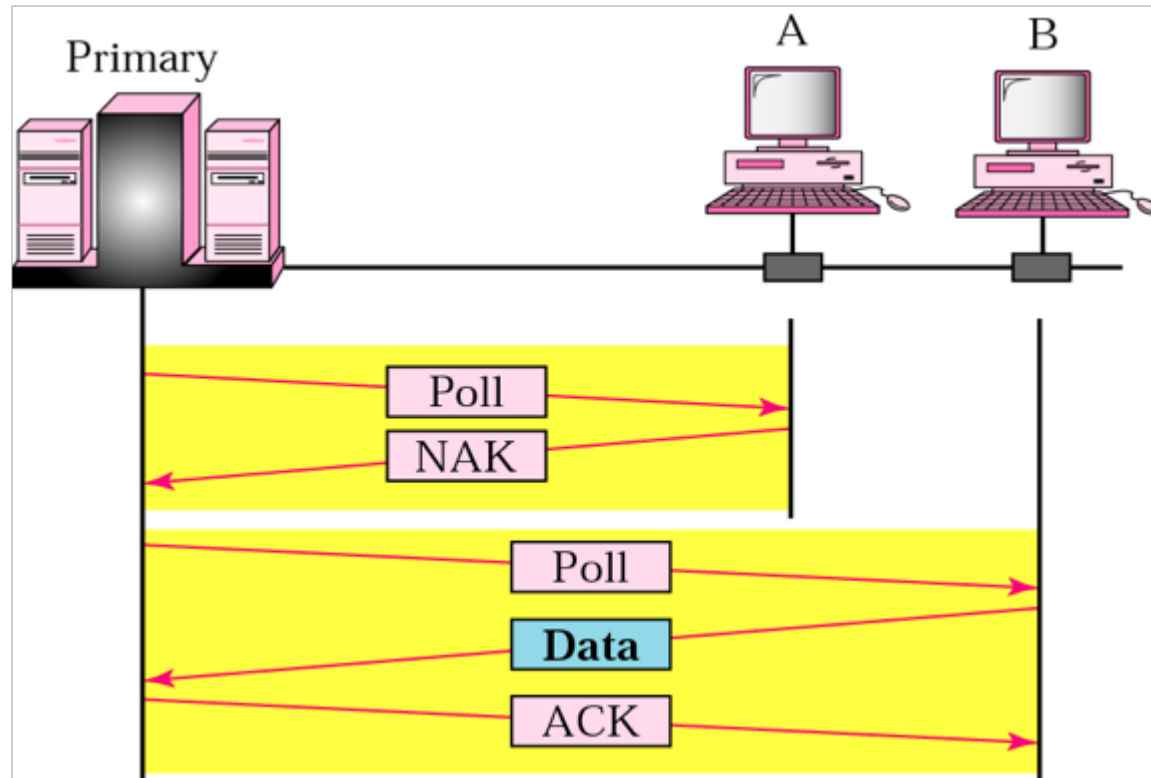


Mecanismos de control de acceso al medio

- **Mecanismos de encuesta o sondeo**

- Mecanismo MAC libre de colisiones centralizado

- El acceso al medio está controlado por un dispositivo central, también denominado dispositivo primario o árbitro
- El dispositivo primario sondea, uno por uno (de forma rotatoria), a los computadores de la red para ver si quieren transmitir
- Un computador solo puede transmitir una trama en su correspondiente ciclo de sondeo



Estándares de redes LAN y MAN

- Principales estándares de redes de área local y metropolitana

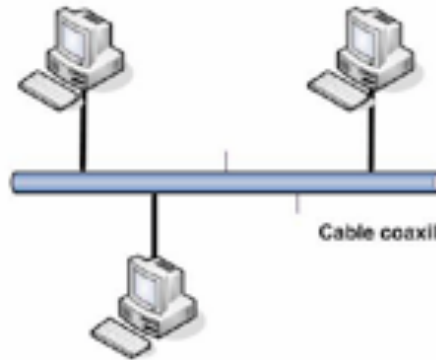
LLC	IEEE 802.2							
MAC	IEEE 802.3 (Ethernet) CSMA/CD	IEEE 802.4 Token Bus	IEEE 802.5 Token Ring	IEEE 802.3u (Fast Ethernet) CSMA/CD	IEEE 802.3z (Gbit Ethernet) CSMA/CD	FDDI Token Ring	IEEE 802.6 DQDB	IEEE 802.11 (WiFi) CSMA/CA
Física	Coax banda base (10 Mbps) Par trenzado (1,10 Mbps) Coax banda ancha (10 Mbps)	Coax banda ancha (1, 5, 10 Mbps) Coax banda portad. (1, 5, 10 Mbps) Fibra óptica (5, 10, 20 Mbps)	Par trenzado (4, 16 Mbps)	Par trenzado (100 Mbps) Fibra óptica (100 Mbps)	Fibra óptica (1 Gbps)	Fibra óptica (100 Mbps)	Fibra óptica (44.7 Mbps, 155.5 Mbps)	Microondas (11-300 Mbps) Infrarrojos (1-10 Mbps)
LAN			LAN alta velocidad		MAN		Inalámbrica	

Redes LAN Ethernet

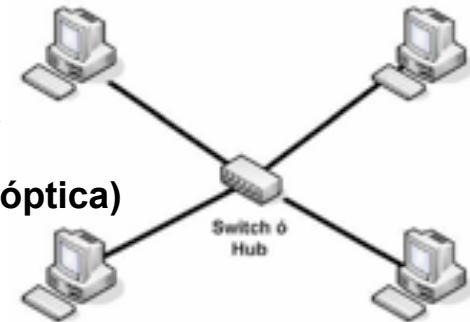
• Introducción

- Características generales
 - Desarrollado originalmente por Xerox y estandarizado por el IEEE 802.3 en 1983
 - Método de acceso al medio: CSMA/CD
- Distintos medios físicos y topologías
 - Cable coaxial (topología en bus)
 - Par trenzado (topología en estrella con hub o switch)
 - Fibra óptica (topología en estrella con switch)

Topología en bus
(cable coaxial)



Topología en estrella
con hub o switch
(par trenzado o fibra óptica)



○ Evolución de redes Ethernet

- 1983-1990: Ethernet (802.3, 802.3a, 802.3i) → 10 Mbps
- 1995: Fast Ethernet (802.3u) → 100 Mbps
- 1998-1999: Gigabit Ethernet o GbE (802.3z, 802.3ab) → 1 Gbps
- 2003-2006: 10Gigabit Ethernet o 10GbE (802.3ae, 802.3an) → 10 Gbps
- 2010: 100Gigabit Ethernet o 100GbE (802.3ba) → 100 Gbps

Redes LAN Ethernet

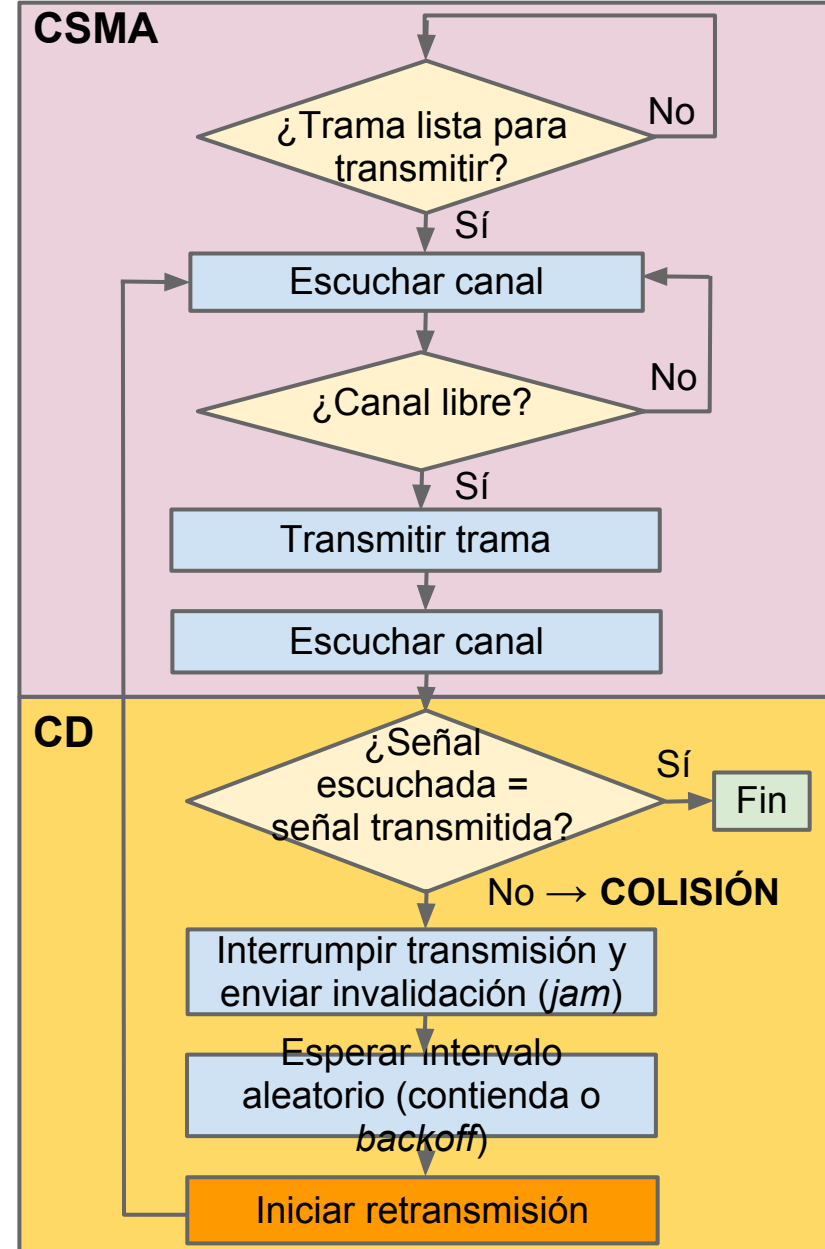
- **Protocolo MAC de Ethernet**

- CSMA/CD =

CSMA with collision detection

(CSMA con detección de colisiones)

- Protocolo MAC distribuido con posibilidad de colisión basado en CSMA persistente
- Mejora introducida → CD
 - Permite anticipar la detección de colisiones y la retransmisión de tramas



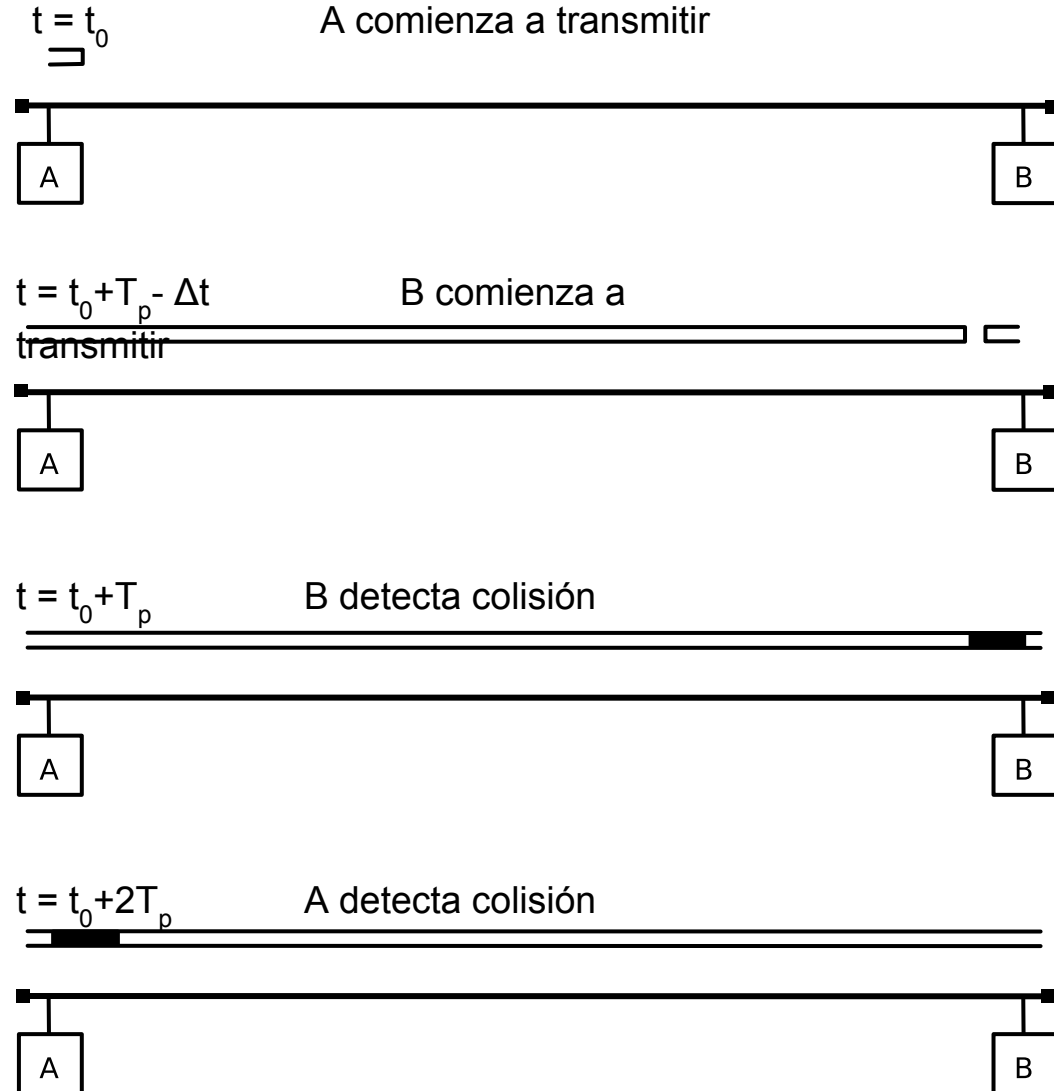
Redes LAN Ethernet

- **Protocolo MAC de Ethernet: CSMA/CD (cont.)**

- Tiempo máximo de detección de colisión

$$\tau = 2 * T_p$$

- Siendo
 - T_p → Retardo máximo de propagación de la señal
 - τ → Ranura temporal



Redes LAN Ethernet

- **Protocolo MAC de Ethernet: CSMA/CD (cont.)**

- Tamaño de trama mínima en Ethernet

- El protocolo CSMA/CD limita el tamaño de trama mínima

- El tiempo de transmisión de cualquier trama debe ser mayor o igual que el tiempo máximo de detección de una colisión o ranura temporal. Es decir:

- $T_{ix} \geq \tau$

- Por tanto:

- $T_{ix} = \text{Tamaño de Trama (bits)} / \text{Velocidad de Transmisión (bps)} \geq \tau$

- $\text{Tamaño de trama} \geq \tau * \text{Velocidad de transmisión}$

- Valores típicos en Ethernet:

- Retardo máximo: $T_p = 25,6 \mu\text{s} \rightarrow \tau = 2T_p = 51,2 \mu\text{s}$

- Velocidad de transmisión: $V = 10 \text{ Mbps}$

- $\text{Tamaño de trama} \geq \tau * \text{Velocidad de transmisión}$

$$= 51,2 \times 10^{-6} \text{ s} \times 10^7 \text{ bits/s} = 512 \text{ bits}$$

Tamaño de trama mínima Ethernet = 512 bits = 64 bytes

Redes LAN Ethernet

- **Protocolo MAC de Ethernet: CSMA/CD (cont.)**

- Mecanismo de contienda (backoff) en caso de colisión
 - Generar un número entero aleatorio m
 - Esperar un intervalo $T = m * \tau$ antes de intentar retransmitir la trama

1ª colisión → $m \in [0,1]$

2ª colisión → $m \in [0,1,2,3]$

...

n -ésima colisión → $m \in [0,1,\dots,2^n-1]$

...

10ª colisión → $m \in [0,1,\dots,1023]$

11ª colisión → $m \in [0,1,\dots,1023]$

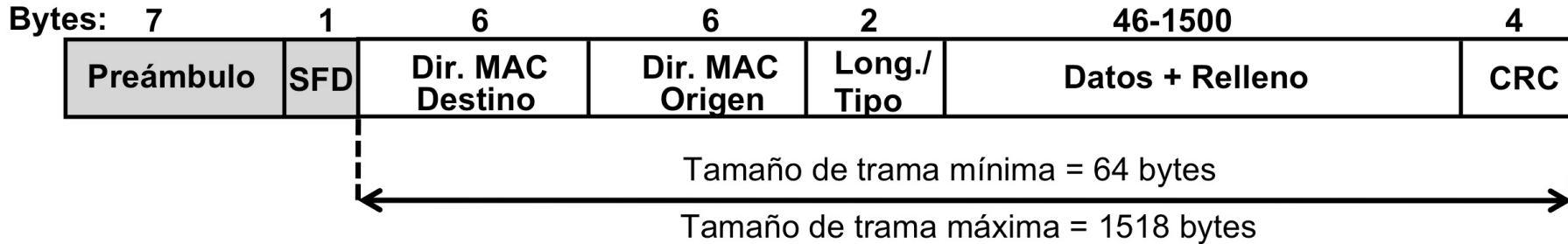
...

16ª colisión → $m \in [0,1,\dots,1023]$

17ª colisión → Abortar transmisión

Redes LAN Ethernet

- Formato de trama Ethernet



- Campos de sincronización y delimitación

- **Preámbulo (7 bytes)**

- Patrón de bits 10101010 repetido 7 veces
- Se utiliza para permitir que el receptor se sincronice con el emisor

- **SFD (*Start Frame Delimiter*) o delimitador de inicio de trama (1 byte)**

- Se utiliza para delimitar el inicio de la trama Ethernet
- Patrón 10101011

Redes LAN Ethernet

- **Formato de trama Ethernet (cont.)**

- Campos de la trama Ethernet

- Direcciones MAC origen y destino (6 bytes)
 - Identifican a la estación origen y destinataria(s) de la trama
 - El formato y los tipos de direcciones MAC se estudian a continuación
- Campo Longitud/Tipo (2 bytes)
 - En el estándar 802.3: campo Longitud (valor ≤ 1500)
 - Indica la longitud del campo de datos
 - En Ethernet II: campo Tipo (valor > 1500)
 - Indica el tipo de protocolo de la capa superior al que van dirigidos los datos. Ejemplos:
 - IP \rightarrow tipo = 2048 (0800 HEX);
 - ARP \rightarrow tipo = 2054 (0806 HEX)
- Datos (0-1500 bytes)
 - Como máximo pueden ocupar 1500 bytes.
 - Si ocupa menos de 46 bytes, se añaden bytes de relleno
- Relleno (0-46 bytes)
 - Bytes de relleno para el caso de tramas menores de 64 bytes (menos de 46 bytes de datos)
- CRC (4 bytes)
 - Código de redundancia para detección errores de transmisión

Redes LAN Ethernet

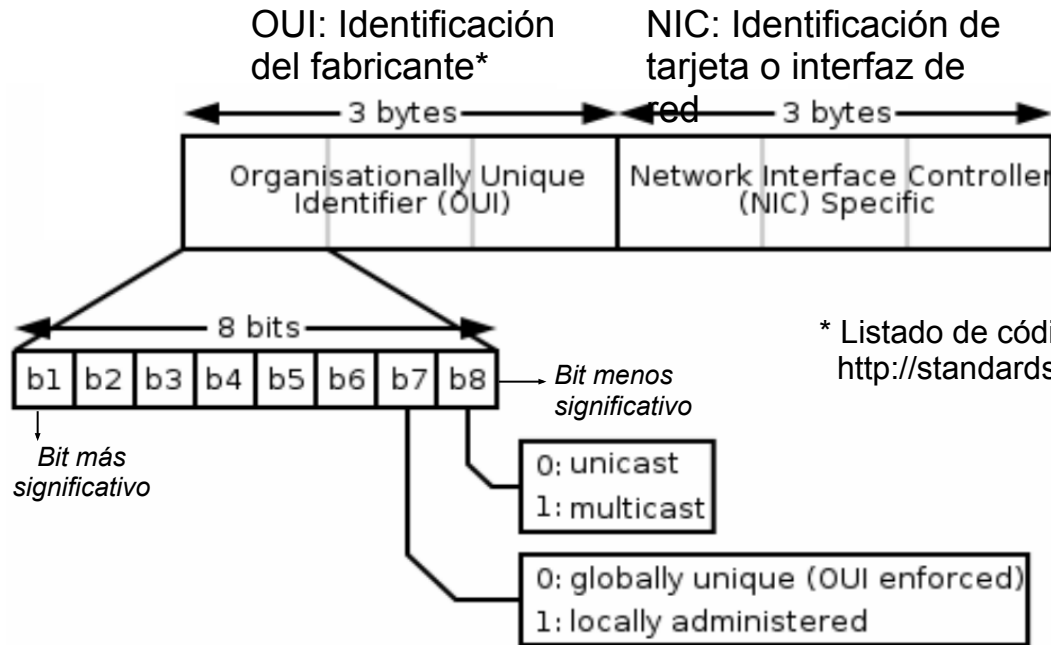
- **Direcciones MAC Ethernet**

- Identifican al emisor y destinatario(s) de una trama en el ámbito de la red local
 - Dir. MAC = Dir. Ethernet = Dir. Física = Dir. Hardware
- Dirección MAC destino
 - Dirección MAC del destinatario o destinatarios de la trama.
 - Puede ser de tres tipos:
 - Dirección MAC individual (unicast)
 - Hace referencia a una única estación
 - Normalmente, esta dirección está grabada en la tarjeta de red
 - Ejemplo: 00:1C:7E:47:75:1A
 - Dirección MAC de grupo (multicast)
 - Hace referencia a un grupo de máquinas en la red local
 - Ejemplo: 01:00:5E:1A:0A:05
 - Dirección MAC de difusión (broadcast)
 - Hace referencia a todas las estaciones de la red local
 - Es, por defecto, la siguiente dirección: FF:FF:FF:FF:FF:FF
- Dirección MAC origen (6 bytes)
 - Dirección MAC de la estación emisora de la trama
 - Solo puede ser de tipo individual (unicast)

Redes LAN Ethernet

- **Direcciones MAC Ethernet (cont.)**

- Formato de la dirección MAC



* Listado de códigos OUI:
<http://standards.ieee.org/develop/regauth/oui/oui.txt>

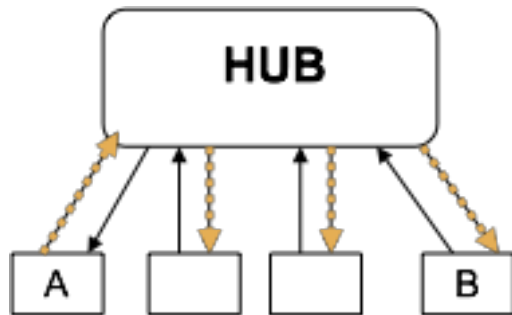
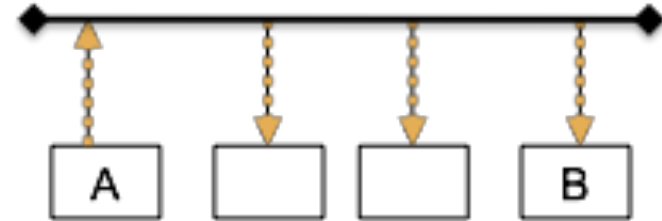
- Bits especiales del primer byte

- Bit unicast/multicast (b8)
 - b8 = 0 → Dirección unicast (ejemplo: 00:1C:7E:47:75:1B)
 - b8 = 1 → Dirección multicast (ejemplo: 01:00:5E:1A:0A:05)
- Bit global/loca (b7)
 - b7 = 0 → Dir. MAC global asignada por el fabricante (grabada en la tarjeta)
 - b7 = 1 → Dir. MAC local configurada por el administrador de la red (si existe, prevalece sobre la dirección global grabada en la tarjeta)

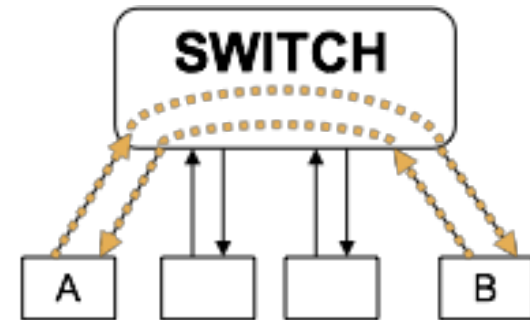
Redes LAN Ethernet

• Topologías Ethernet

- Topología en bus
 - La información se difunde a toda la red
 - Existencia de colisiones (necesario CSMA/CD)
 - Transmisión **half-duplex**
 - Privacidad baja
- Topología en estrella: hubs y switches



- Dispositivo repetidor
- Retransmite la información por todas las salidas (se comporta como un bus)
- Existencia de colisiones (necesario CSMA/CD)
- Transmisión **half-duplex**
- Privacidad baja



- Dispositivo conmutador
- Retransmite la información únicamente por la salida adecuada
- Libre de colisiones (no es necesario CSMA/CD)
- Transmisión **full-duplex**
- Privacidad elevada

Redes LAN Ethernet

- **Funcionamiento de los switches**

- Tipos de switches

- Switch de almacenamiento y reenvío (*store-and-forward*)

- El switch acepta la trama, la almacena temporalmente y la reenvía hacia la salida adecuada

- Ventajas

- Puede realizar la comprobación de errores y descartar tramas erróneas
 - Puede interconectar dispositivos de diferente velocidad (p. ej. 10 y 100 Mbps) y adaptar fácilmente las distintas velocidades de transmisión

- Desventajas

- Introduce retardos adicionales al tener que almacenar la trama completa

- Switch de truncamiento (*cut-through*)

- El switch lee la dirección MAC de destino (que aparece en los primeros bits de la trama) e inmediatamente comienza a reenviar la trama por la salida adecuada

- Ventajas

- Menores retardos, ya que no almacena la trama

- Desventajas

- Puede reenviar tramas erróneas
 - Dificultad para interconectar dispositivos de distintas velocidades

Redes LAN Ethernet

- **Funcionamiento de los switches (cont.)**

- **Auto-aprendizaje del switch**

- Cada switch tiene una **tabla de conmutación** (switching table)

- Almacena las direcciones MAC asociadas a cada puerto
- Cada entrada de la tabla de conmutación contiene:
 - Dirección MAC
 - N° de puerto
 - Marca de tiempo
- Las entradas antiguas (no usadas) son descartadas (TTL ~60 seg.)

- La tabla de conmutación se aprende de forma automática

- El auto-aprendizaje se realiza a partir de las tramas recibidas por el switch
- Cuando el switch recibe una trama con dirección origen MAC-X a través del puerto P
 - El switch añade a su tabla que la dirección MAC-X está asociada al puerto P
- Durante el proceso de aprendizaje
 - Si el switch recibe una trama dirigida a la dirección MAC-Y y todavía no conoce el puerto asociado a esa dirección, entonces envía la trama por todas las salidas (broadcast)

Redes LAN Ethernet

- Implementaciones físicas (cont.)

Ethernet	10BASE5	10BASE2	10BASE-T
Medio Transm.	Coaxial grueso	Coaxial delgado	2 pares UTP-3
Topología	Bus	Bus	Hub
Modo de transmisión	Half-duplex	Half-duplex	Half-duplex
Velocidad	10 Mbps	10 Mbps	10 Mbps
Longitud máx.	500	185	100

Fast Ethernet	100BASE-FX	100BASE-TX	100BASE-T4	100BASE-T2
Medio Transm.	2 Fibras ópticas multimodo	2 pares UTP-5	4 pares UTP-3	2 pares UTP-3
Topología	Switch	Hub o Switch	Hub	Switch
Modo de transmisión	Full-duplex	Half-duplex (hub) Full-duplex (switch)	Half-duplex	Full-duplex
Velocidad	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
Longitud máx.	Hasta 2000 m	100 m	100 m	100 m

Redes LAN Ethernet

- Implementaciones físicas (cont.)

Gigabit Ethernet	1000BASE-SX	1000BASE-LX	1000BASE-CX	1000BASE-T
Medio Transm.	2 fibras óptica corto alcance	2 fibras óptica Largo alcance	2 pares STP	4 pares UTP Cat-5 o superior
Topología	Switch	Switch	Switch	Switch
Modo transm.	Full-duplex	Full-duplex	Full-duplex	Full-duplex
Velocidad	1 Gbps	1 Gbps	1 Gbps	1 Gbps
Longitud máx.	220-550 m	550-5000 m	25 m	100 m

10 Gigabit Ethernet	10GBASE-SR	10GBASE-LR	1000BASE-ER	10GBASE-T
Medio Transm.	2 fibras multimodo corto alcance	2 fibras monomodo largo alcance	2 fibras monomodo alcance extendido	4 pares UTP Cat-6 o 7
Topología	Switch	Switch	Switch	Switch
Modo transm.	Full-duplex	Full-duplex	Full-duplex	Full-duplex
Velocidad	10 Gbps	10 Gbps	10 Gbps	10 Gbps
Longitud máx.	300 m	10 Km	40 Km	100 m

Redes LAN Ethernet

- **Implementaciones físicas (cont.)**

- Proceso de autonegociación de tarjetas Fast y Gigabit Ethernet
 - Cuando un computador con tarjeta Fast Ethernet (10/100 Mbps) o Gigabit Ethernet (10/100/1000 Mbps) se conecta a un hub o switch, la tarjeta se autoconfigura en el modo de transmisión óptimo:
 - Velocidad: 1000, 100 ó 10 Mbps
 - Modo de transmisión: full-duplex o half-duplex
 - Las prioridades de la autonegociación es la siguiente:

Prioridades de autonegociación	
A	1000BASE-T full duplex
B	1000BASE-T half duplex
C	100BASE-T2 full duplex
D	100BASE-TX full duplex
E	100BASE-T2 half duplex
F	100BASE-T4 half duplex
G	100BASE-TX half duplex
H	10BASE-T full duplex
I	10BASE-T half duplex

Redes LAN Ethernet

- **Interconexión de redes Ethernet**

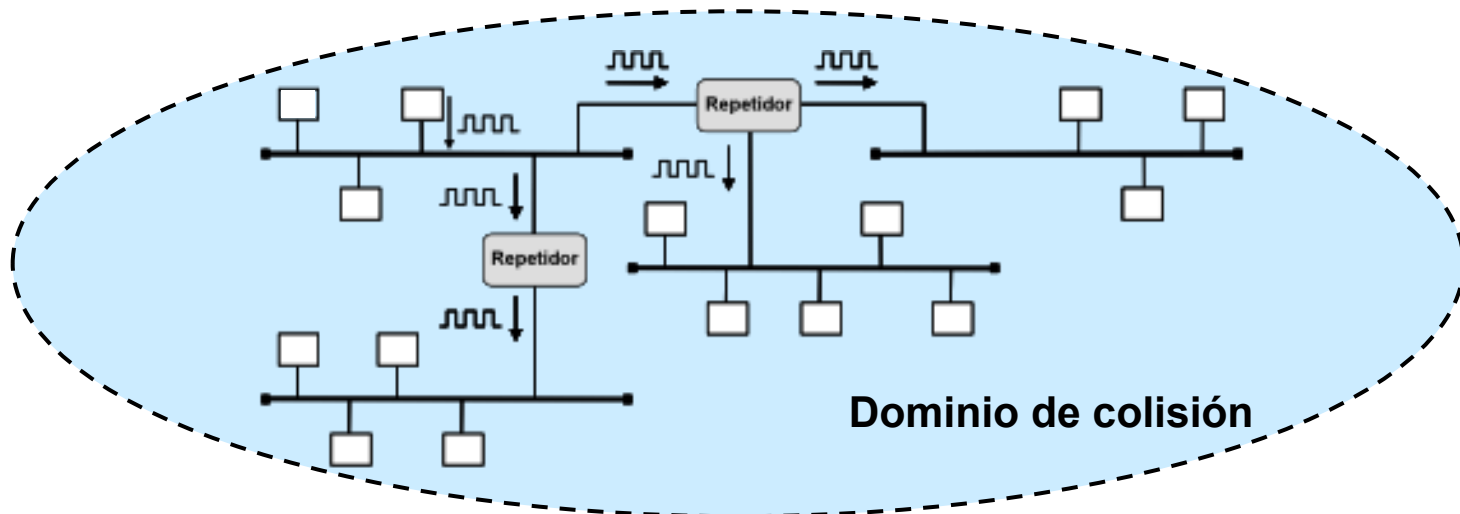
- **Dominio de colisión**

- Un *dominio de colisión* es un conjunto de máquinas de una red de tipo Ethernet que pueden producir colisiones entre sí.
- Cada vez que se produzca una colisión dentro de un dominio de colisión, afectará a todos los equipos conectados a ese dominio pero no a los equipos pertenecientes a otros dominios de colisión.
- Ejemplos
 - Todos las máquinas conectadas a un segmento Ethernet 10BASE2 forman un dominio de colisión
 - Todos las máquinas conectadas a un Hub Ethernet 10BASE-T forman un dominio de colisión
 - Cada rama de un *switch* 100BASE-TX constituye un dominio de colisiones distinto (las colisiones no se retransmiten por los puertos del switch).

Redes LAN Ethernet

- **Interconexión de redes Ethernet (cont.)**

- Interconexión de varios segmentos 10BASE2
 - Se pueden unir varios segmentos 100BASE2 mediante repetidores
 - Esto permite ampliar el alcance de la red (limitada a 185 m)
 - Un repetidor es un dispositivo de nivel físico
 - Cualquier señal que recibe por una de sus entradas, la regenera, la amplifica y la retransmite por el resto de salidas
 - Limitaciones en el uso de repetidores
 - No pueden existir más de 4 repetidores en el camino entre dos estaciones cualesquiera
 - La red no puede contener lazos cerrados
 - Dominio de colisión
 - Todos los segmentos unidos mediante repetidores forman un único dominio de colisión

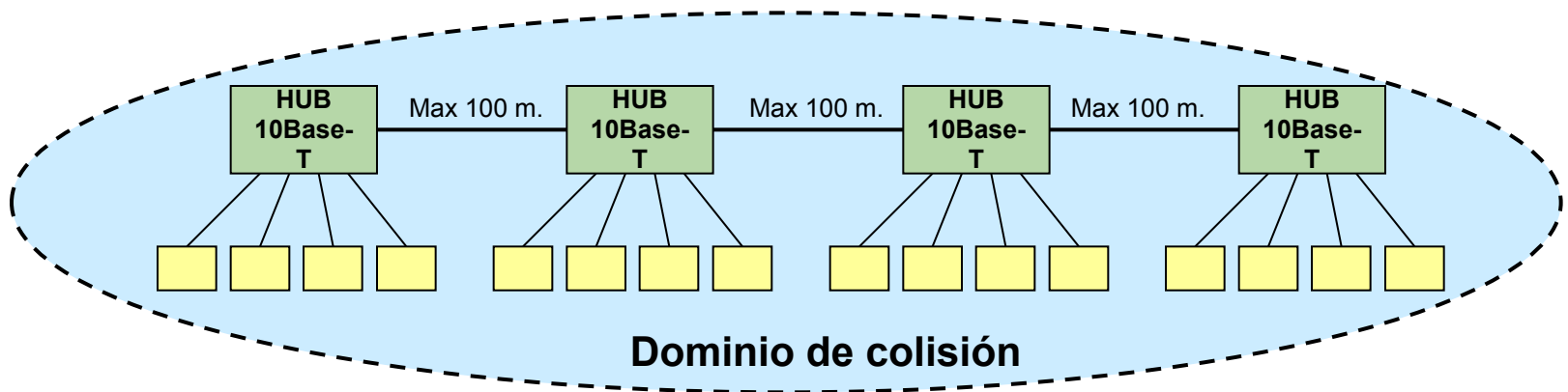


Redes LAN Ethernet

- **Interconexión de redes Ethernet (cont.)**

- Interconexión de varios HUBs 10BASE-T

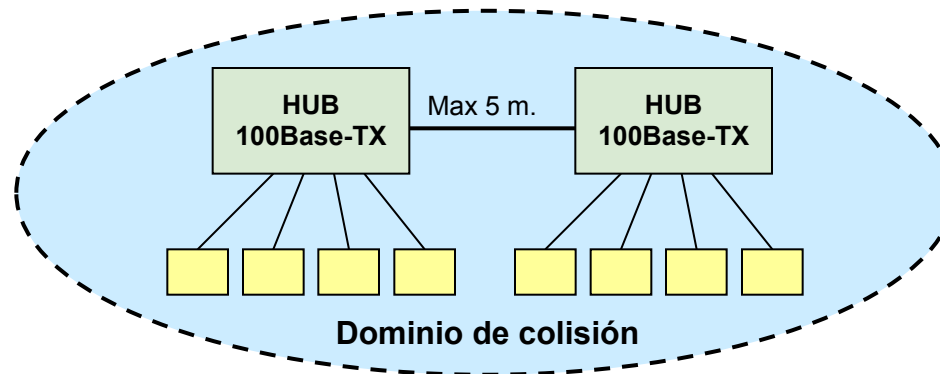
- Se pueden conectar varios hubs para ampliar el tamaño de la red.
 - La conexión entre dos hubs se realiza mediante un cable cruzado
 - La longitud máxima del cable es de 100 m.
- Limitaciones en la conexión de varios hubs en una red 10BASE-T
 - El número máximo de hubs que pueden existir en el camino entre dos estaciones cualesquiera es de 4
 - No pueden existir caminos que formen lazos cerrados.
- Dominio de colisión
 - Las estaciones de una red 10BASE-T formada por varios HUBs interconectados entre sí, forman un único dominio de colisión



Redes LAN Ethernet

- **Interconexión de redes Ethernet (cont.)**

- Interconexión de varios HUBs 100BASE-TX
 - Se pueden conectar un máximo de 2 hubs 100Base-TX (Clase II) para ampliar el tamaño de la red.
 - La longitud máxima del cable de unión es de 5 m.
 - Dominio de colisión
 - Las estaciones de una red 100BASE-TX formada por varios HUBs interconectados entre sí forman un único dominio de colisión

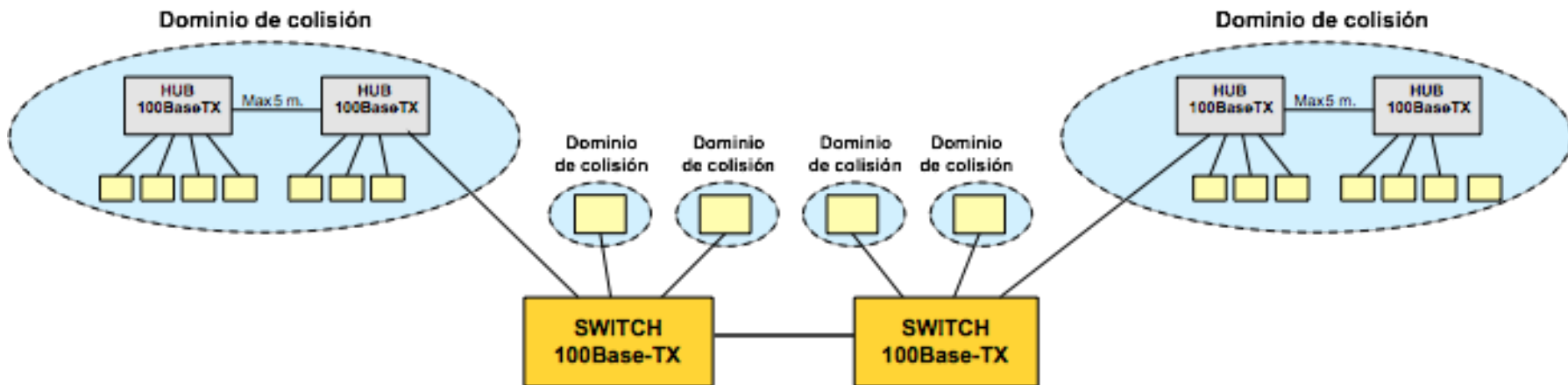


Redes LAN Ethernet

- **Interconexión de redes Ethernet (cont.)**

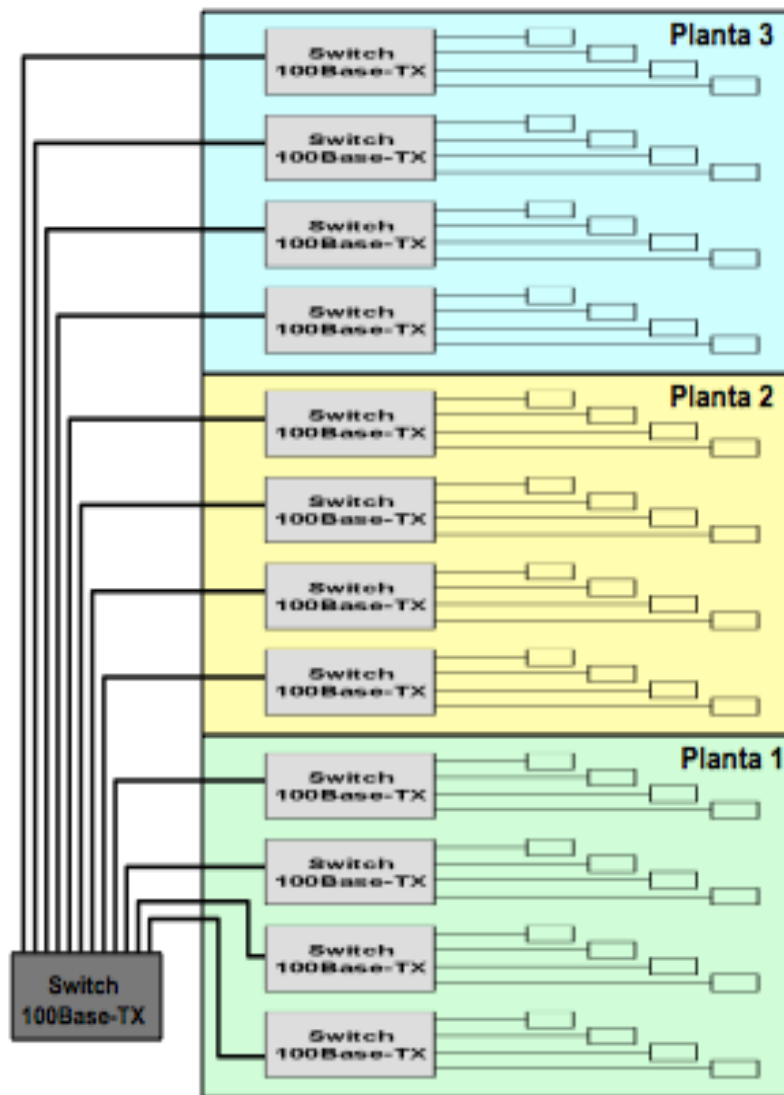
- Interconexión de redes Ethernet mediante switches

- Se pueden conectar varios switches para aumentar el tamaño de la red
 - La longitud del cable entre 2 switches 100BASE-TX o 1000BASE-TX es 100m.
- Limitaciones
 - No existe límite al número de switches que se pueden conectar entre sí
- Combinación de hubs y switches
 - Se pueden combinar hubs y switches de distintas velocidades (10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps y 10 Gbps)
- Ejemplo 1: Combinación de Hubs y Switches 100BASE-TX



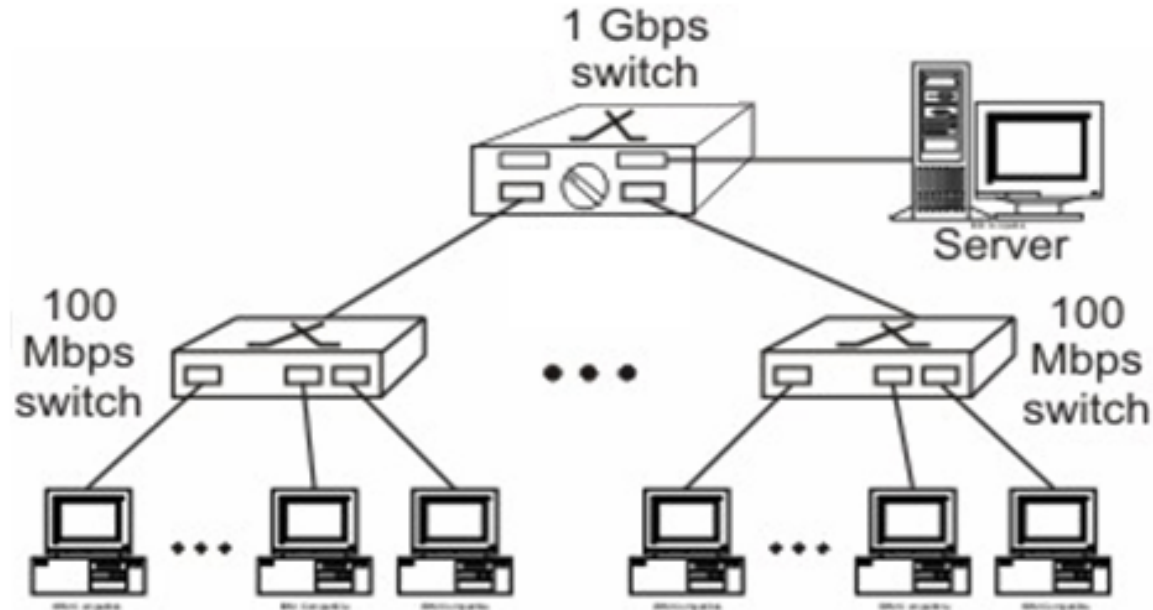
Redes LAN Ethernet

- **Interconexión de redes Ethernet (cont.)**
 - Interconexión de redes Ethernet mediante switches
 - Ejemplo 2: cableado típico de un edificio mediante switches 100Base-TX



Redes LAN Ethernet

- **Interconexión de redes Ethernet (cont.)**
 - Interconexión de redes Ethernet mediante switches
 - Ejemplo 3: interconexión de switches de distinta velocidad para conectar un servidor con gran demanda de ancho de banda

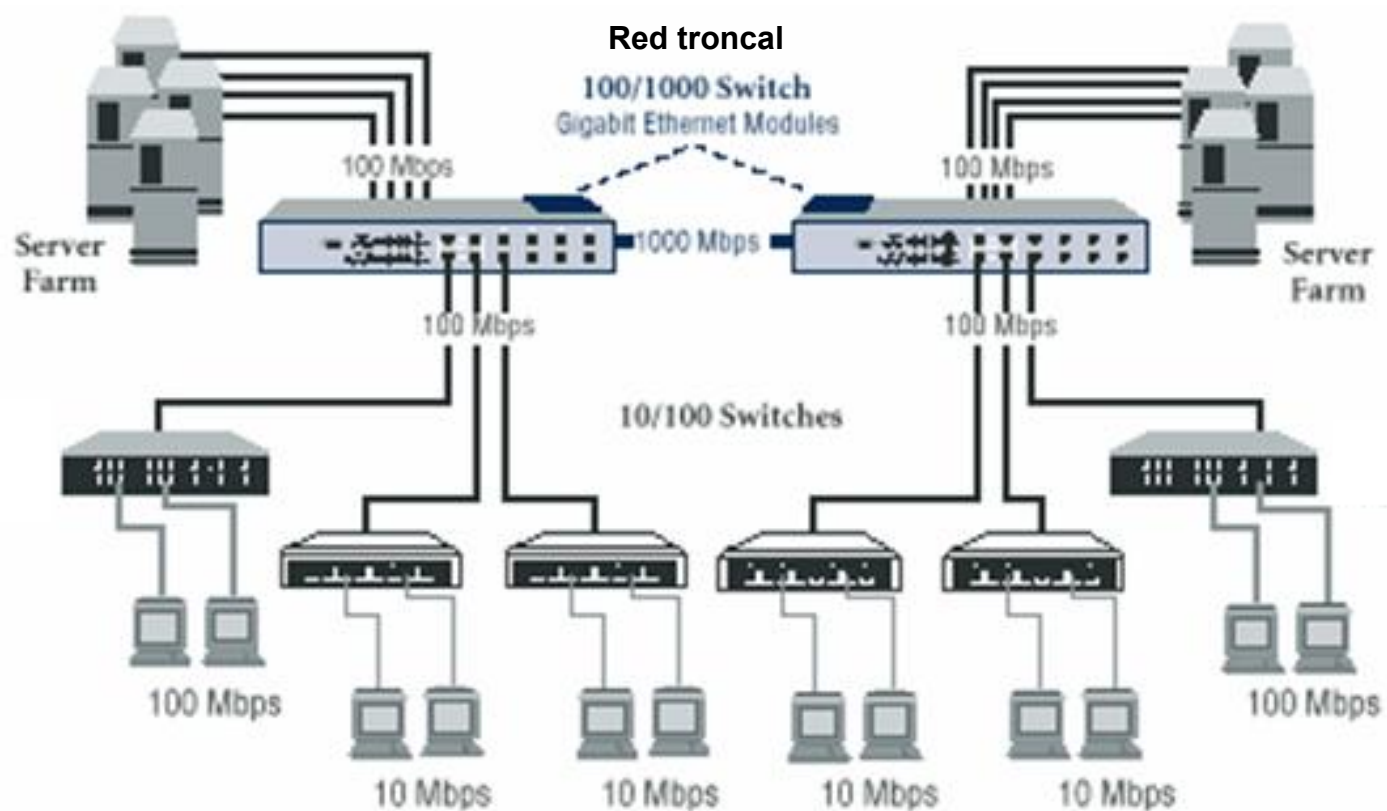


Redes LAN Ethernet

- **Interconexión de redes Ethernet (cont.)**

- Interconexión de redes Ethernet mediante switches

- Ejemplo 4: interconexión de switches de distinta velocidad para formar una red troncal de alta velocidad

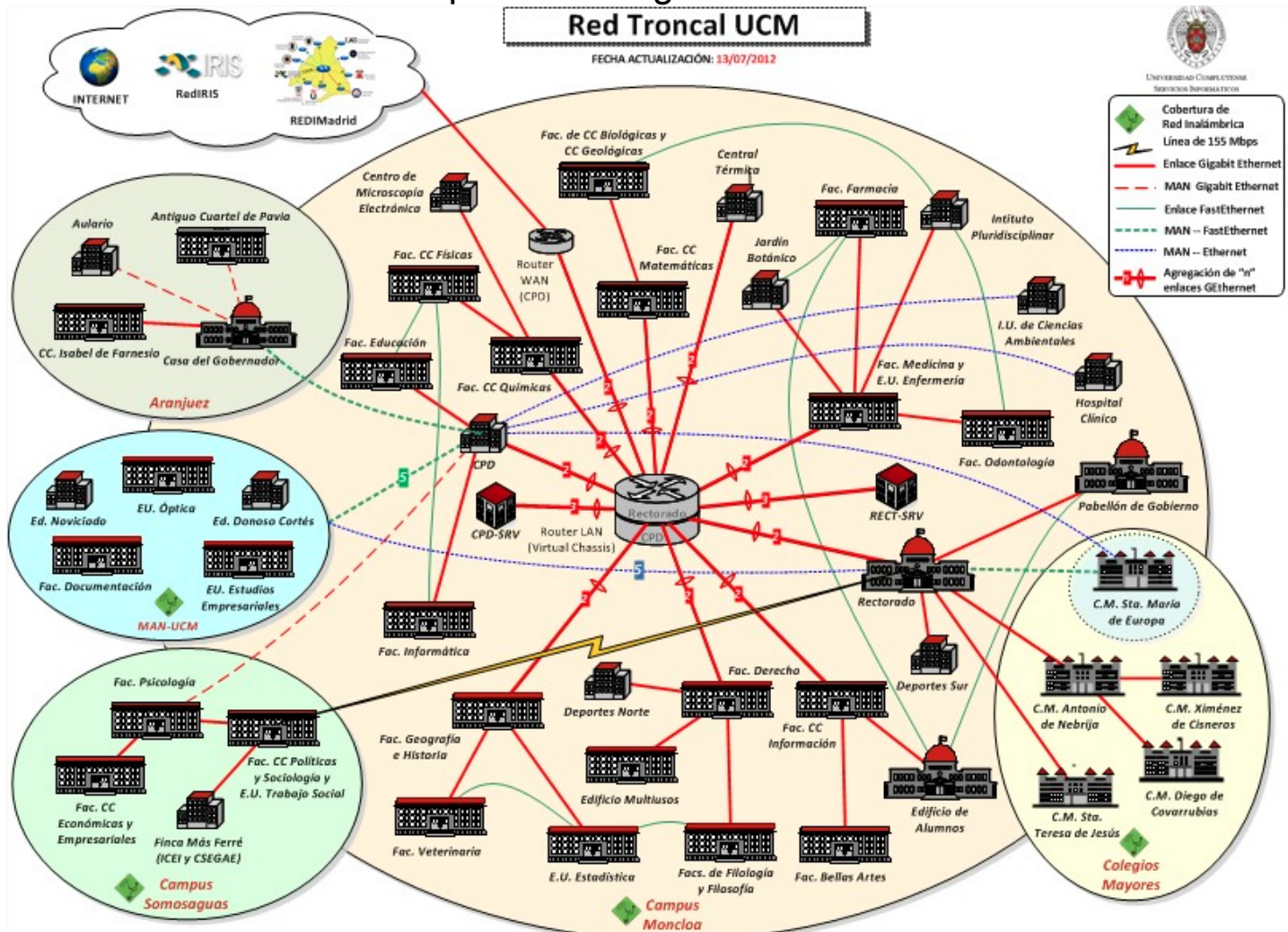


Redes LAN Ethernet

- Interconexión de redes Ethernet (cont.)

- Interconexión de redes Ethernet mediante switches

- Ejemplo 5: combinación de múltiples tecnologías Ethernet en la red de la UCM



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Principales tecnologías inalámbricas**

Tecnología	Tipo de red*	Alcance	Velocidad
BlueTooth	WPAN	~10 m	Hasta 2 Mbps
WiFi (802.11)	WLAN	~100 m	Hasta 150 Mbps
HiperLAN (en desuso)	WLAN	~100 m	Hasta 54 Mbps
WiMAX (802.16)	WMAN	~80 Km	Hasta 75 Mbps
Telefonía UMTS (3G)	WWAN	Global	Hasta 10 Mbps

* Tipos de redes

- WPAN: Wireless Personal Area Network (red inalámbrica de área personal)
- WLAN: Wireless Local Area Network (red inalámbrica de área local)
- WMAN: Wireless Metropolitan Area Network (red inalámbrica de área metropolitana)
- WWAN: Wireless Wide Area Network (red inalámbrica de área extensa)

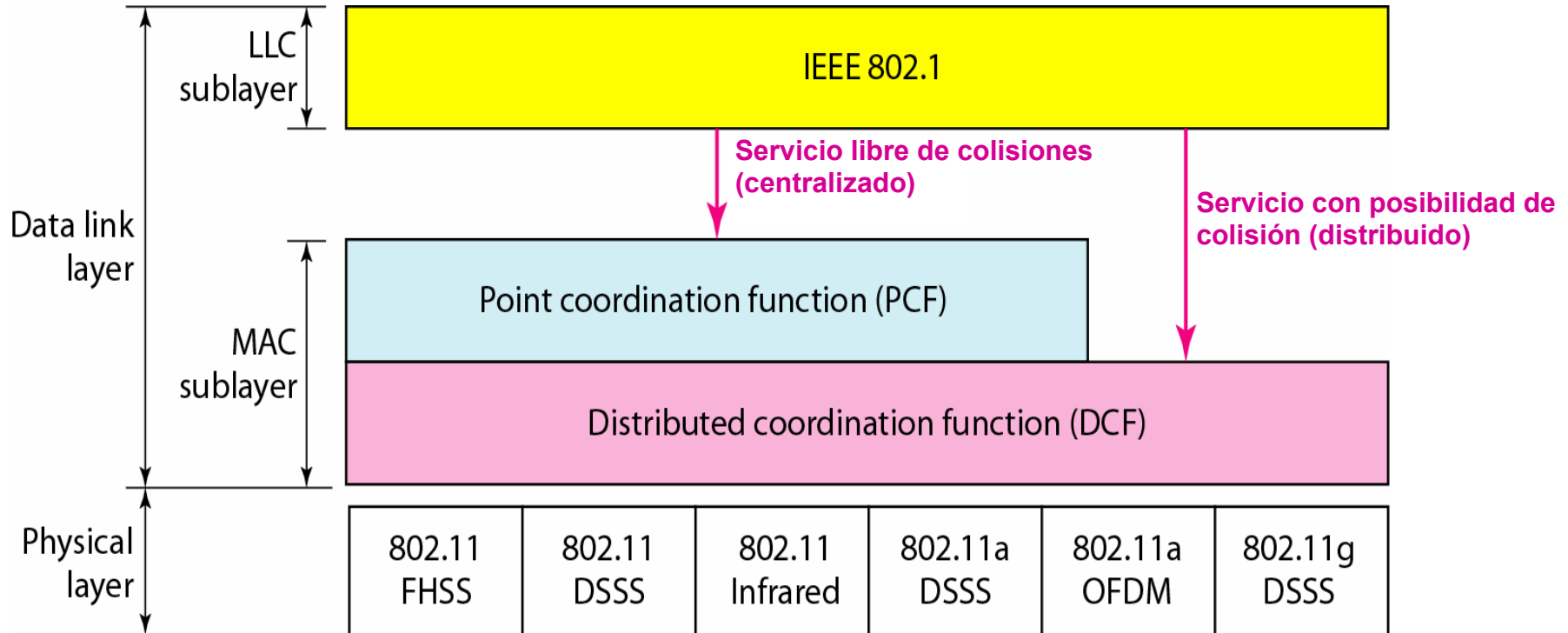
Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Redes WiFi (802.11)**

- WiFi (Wireless Fidelity) es una tecnología de red WLAN especificada por el estándar del IEEE 802.11
- El estándar 802.11 define
 - Los tipos de redes WiFi soportados
 - Con infraestructura
 - Sin infraestructura (ad-hoc)
 - Los conjuntos de servicios permitidos
 - Conjunto básico de servicios básicos (BSS, Basic Service Set)
 - Conjunto extendido de servicios (ESS, Extended Service Set)
 - Los protocolos de control de acceso al medio
 - Función de coordinación distribuida (DCF), basada en CSMA/CA
 - Función de coordinación centralizada (PCF), basada en sondeo
 - Las implementaciones físicas soportadas
 - 802.11a
 - 802.11b
 - 802.11g
 - 802.11n
 - El formato de trama

Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- Arquitectura de la red WiFi (802.11)



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

• Tipos de redes WiFi

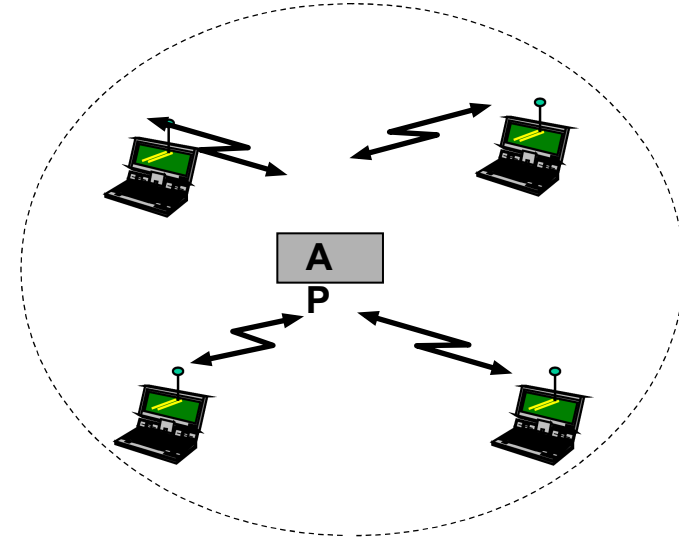
○ Red WiFi con infraestructura

- Las estaciones inalámbricas se comunican a través de un punto de acceso inalámbrico (AP, Access Point)
 - Cada AP tiene un identificador (BSSID = dirección MAC del AP)
 - La conexión de una estación a un AP se denomina asociación
- El AP funciona como una especie de HUB inalámbrico
 - La estación emisora envía su trama de datos al AP
 - El AP retransmite la trama de datos a la estación destinataria

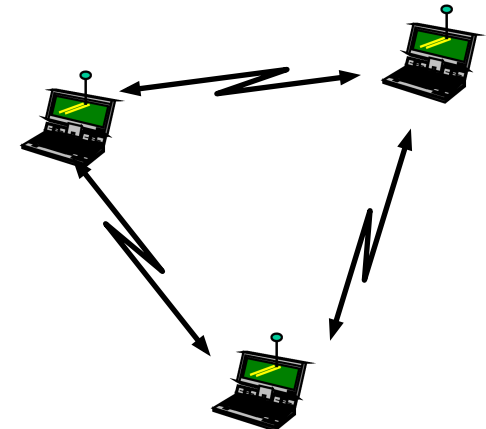
○ Red WiFi sin infraestructura (ad-hoc)

- Las estaciones inalámbricas se comunican directamente entre sí, sin necesidad de un AP
- Este modo de funcionamiento es similar, en cierto modo, al utilizado en redes Bluetooth

WiFi con infraestructura



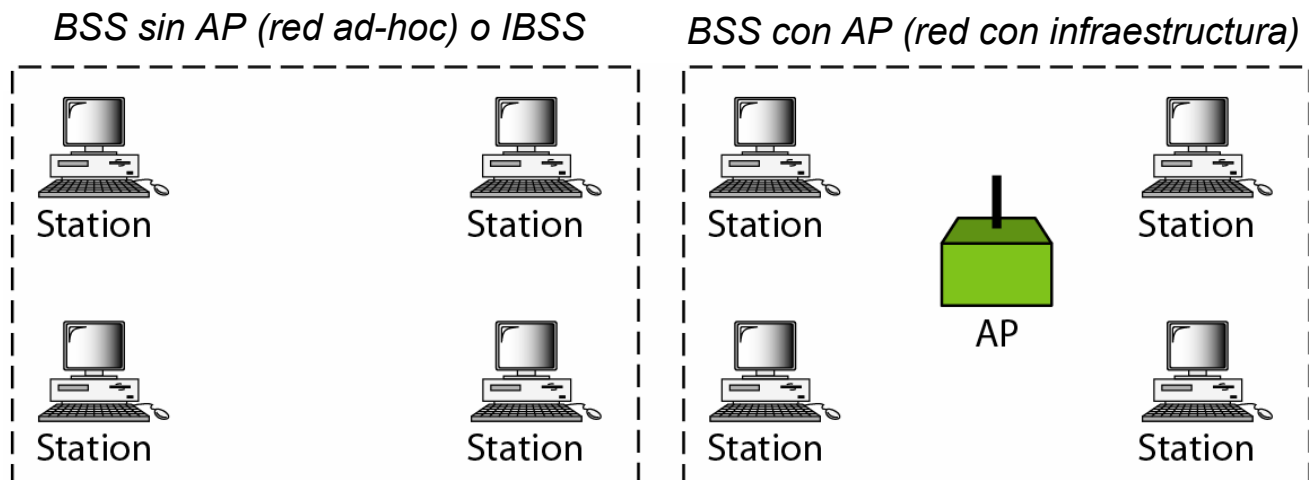
WiFi sin infraestructura (ad-hoc)



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Conjunto de servicios de redes WiFi**

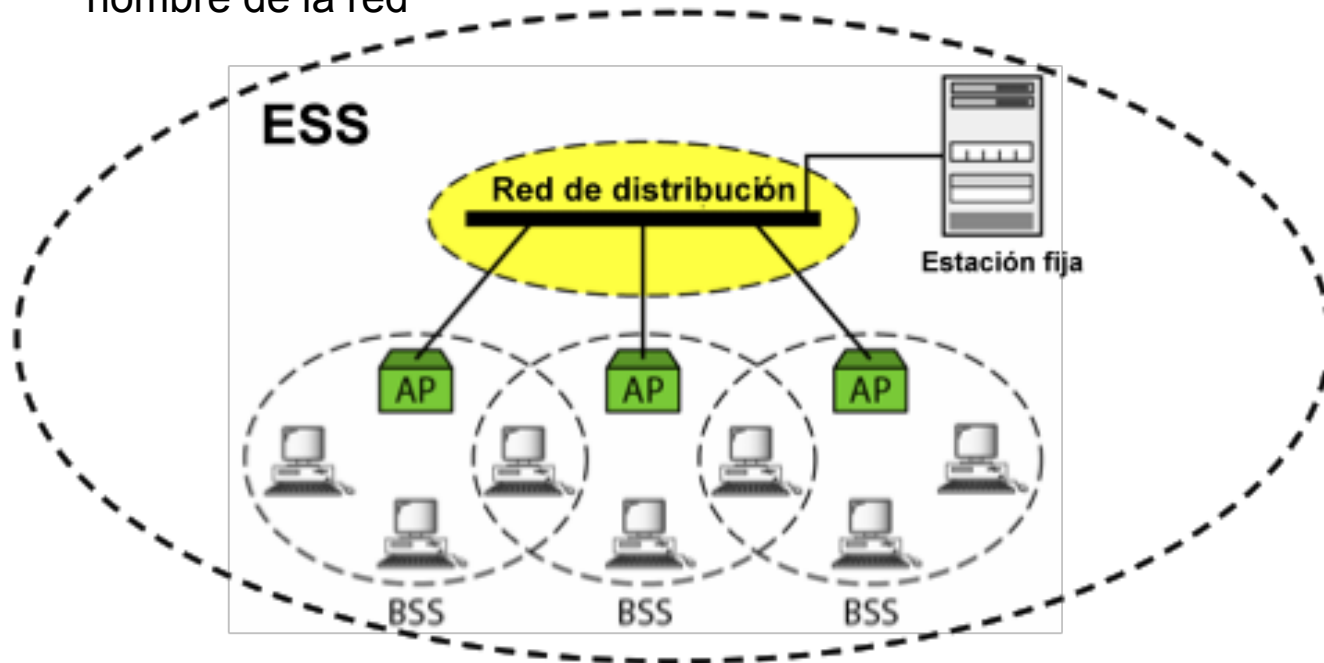
- Conjunto básico de servicios (BSS, Basic Service Set)
 - Un BSS es el bloque constitutivo básico de una WLAN
 - Está formado por un conjunto de estaciones móviles y, opcionalmente, un AP
 - Un BSS puede ser una red WLAN con o sin infraestructura
 - Un BSS sin infraestructura (ad-hoc) es una red aislada, que no puede comunicarse con otras redes. También se denomina IBSS (Independent BSS)
 - Un BSS con infraestructura se puede comunicar con otras redes a través del AP
 - Cada BSS se identifica mediante un identificador: **BSSID**
 - En el caso de un BSS con AP, el BSSID es la dirección MAC del AP
 - En el caso de un IBSS, el BSSID se genera aleatoriamente



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Conjunto de servicios de redes WiFi (cont.)**

- Conjunto extendido de servicios (ESS, Extended Service Set)
 - Un ESS está compuesto de varios BSSs unidos a través de sus respectivos APs mediante una **red de distribución**
 - La red de distribución suele ser una red cableada, y puede usar cualquier tipo de tecnología (por ejemplo, Ethernet)
 - El ESS puede estar formado por estaciones móviles y fijas
 - Un ESS se identifica mediante un identificador: **ESSID** (o abreviadamente SSID)
 - El ESSID es una cadena ASCII de 32 caracteres, que también se denomina “nombre de la red”



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Control de acceso al medio en redes WiFi**

- Problema de las redes WLAN

- No es posible utilizar CSMA/CD debido a la dificultad de detectar colisiones
 - La tarjeta de red Wi-Fi no puede transmitir y recibir simultáneamente, por tanto no es posible detectar colisiones
 - Adicionalmente existe el problema de “la estación oculta” que dificulta la detección de colisiones

- Técnicas MAC en redes WLAN 802.11

- Función de coordinación distribuida (DCF, *Distributed Coordination Function*)
 - El control de acceso al medio se lleva a cabo de forma distribuida entre todas las estaciones de la red
 - Es el protocolo más comúnmente utilizado en redes WiFi
 - Puede utilizarse en entornos con o sin infraestructura
 - Se basa en el protocolo CSMA/CA (*CSMA with Collision Avoidance*)
- Función de coordinación centralizada (PCF, *Point Coordination Function*)
 - El control de acceso al medio se lleva a cabo de forma centralizada mediante el AP
 - Sólo se puede utilizar en redes con infraestructura
 - Es un protocolo basado en sondeo libre de colisiones

Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**
 - Parámetros temporales usados en DCF y PCF
 - El funcionamiento de DCF y PCF se basa en tres parámetros temporales
 - SIFS (*short inter-frame spacing*): espaciado inter-trama corto
 - PIFS (*PCF inter-frame spacing*): espaciado inter-trama PCF o intermedio
 - DIFS (*DCF inter-frame spacing*): espaciado inter-trama DCF o largo

SIFS < PIFS < DIFS

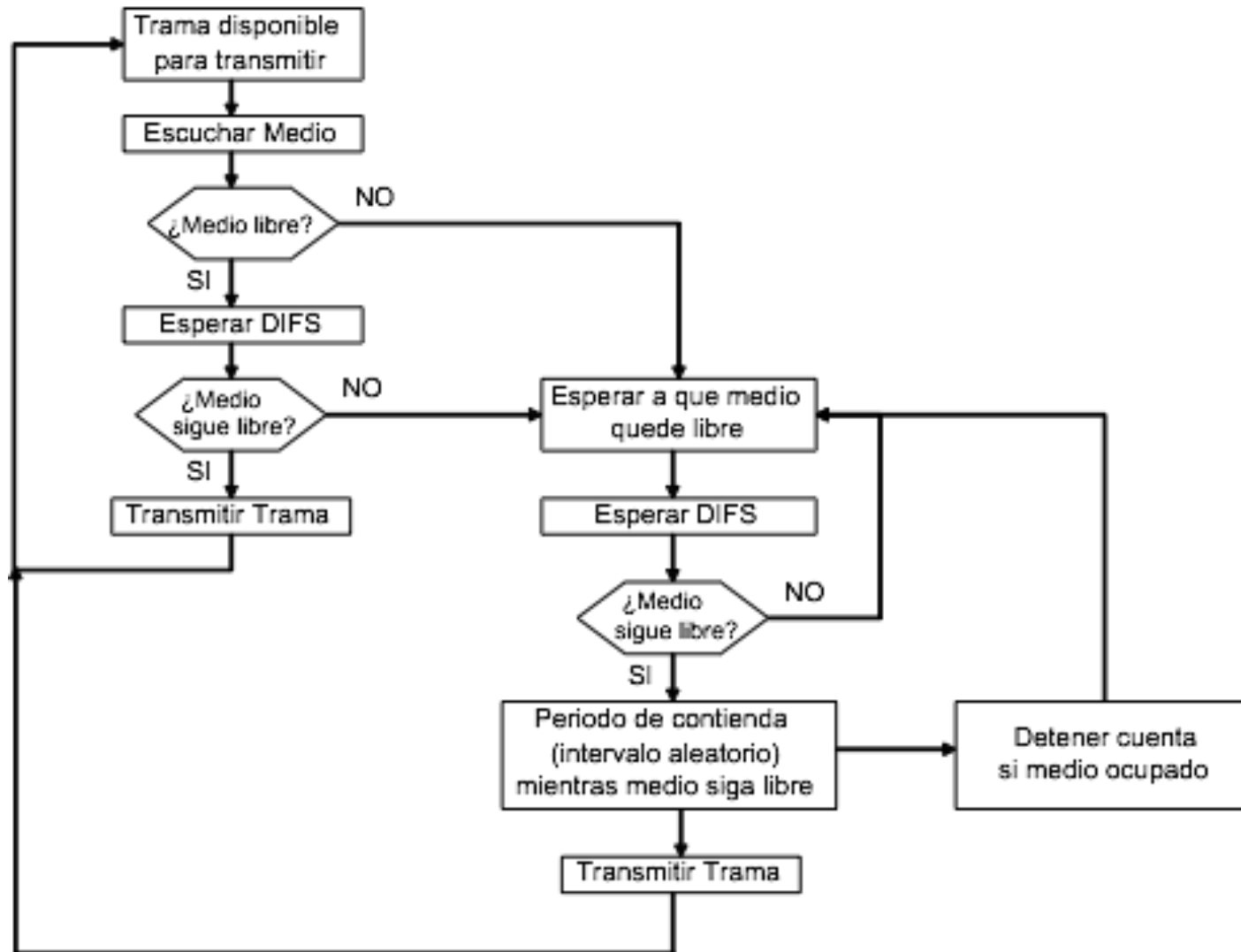
Función de coordinación	Parámetros temporales
DCF	SIFS DIFS
PCF	SIFS PIFS

Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**
 - Función de coordinación distribuida
 - Se basa en el protocolo CSMA/CA, que tiene el siguiente funcionamiento:
 1. Cuando una estación quiere transmitir, primero escucha el medio
 - Si el medio está ocupado, pasa a 2
 - Si el medio está libre, la estación continúa escuchando el medio durante un intervalo DIFS. Después de este intervalo:
 - Si el medio continúa libre, la estación comienza a transmitir.
 - Si el medio está ocupado, pasa a 2
 2. Si el medio está ocupado
 - La estación espera a que el medio quede libre.
 - Una vez que éste queda libre, la estación NO transmite inmediatamente, sino que espera un intervalo DIFS y pasa a 3
 3. Una vez transcurrido el intervalo DIFS
 - Si el medio está ocupado, vuelve a 2.
 - Si el medio está libre, la estación genera un número aleatorio N , y espera N ranuras temporales (periodo de contienda) escuchando el medio
 - Si transcurrido el periodo de contienda el medio sigue libre, la estación transmite
 - Si durante el periodo de contienda otra estación ocupa el medio, la estación detiene su cuenta, espera a que el medio quede libre, luego espera un tiempo DIFS y luego continúa con la cuenta (por el punto en que se quedó)

Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**
 - Función de coordinación distribuida (cont.)



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

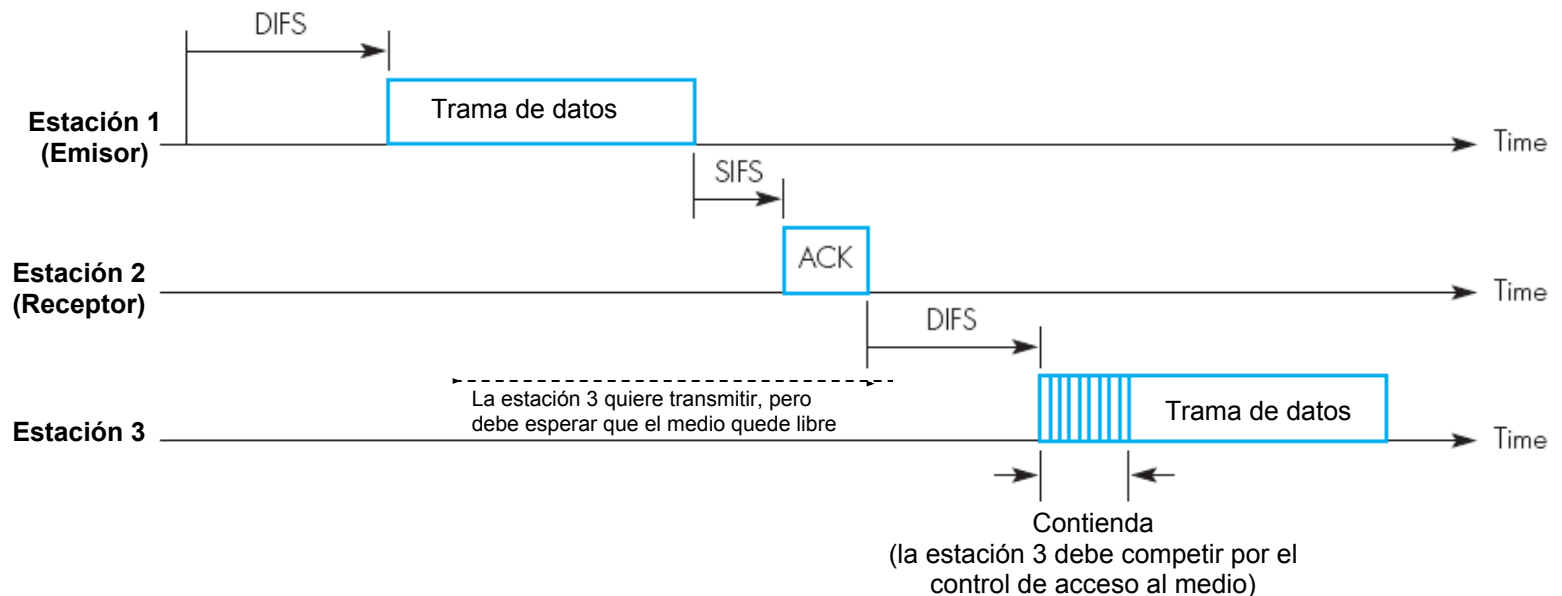
- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**

- Función de coordinación distribuida (cont.)

- Confirmación de la trama recibida

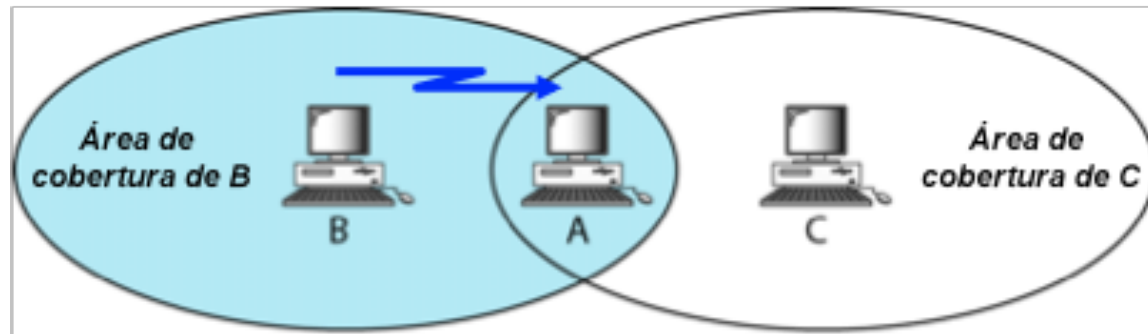
- Cuando se recibe una trama completa y libre de errores, la estación receptora espera un intervalo SIFS y a continuación envía una confirmación (ACK)

- Esquema:

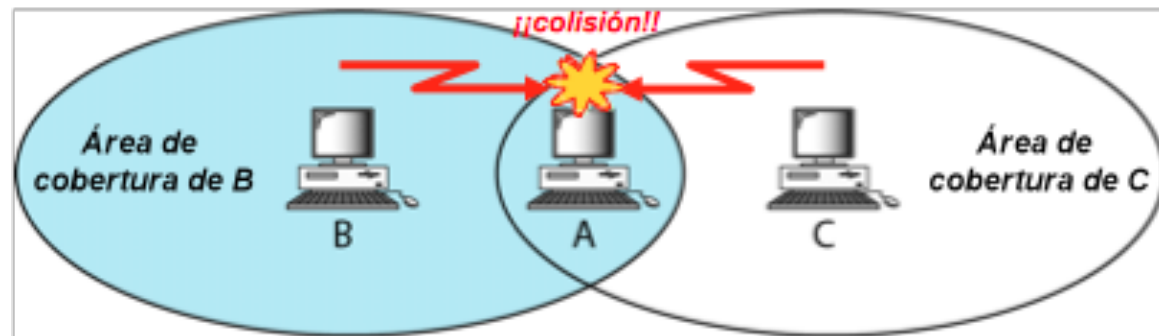


Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**
 - Función de coordinación distribuida (cont.)
 - El problema de la estación oculta
 - Supongamos la siguiente situación:
 - Las estaciones B y C no se ven entre sí
 - Supongamos que la estación B está transmitiendo a la estación A

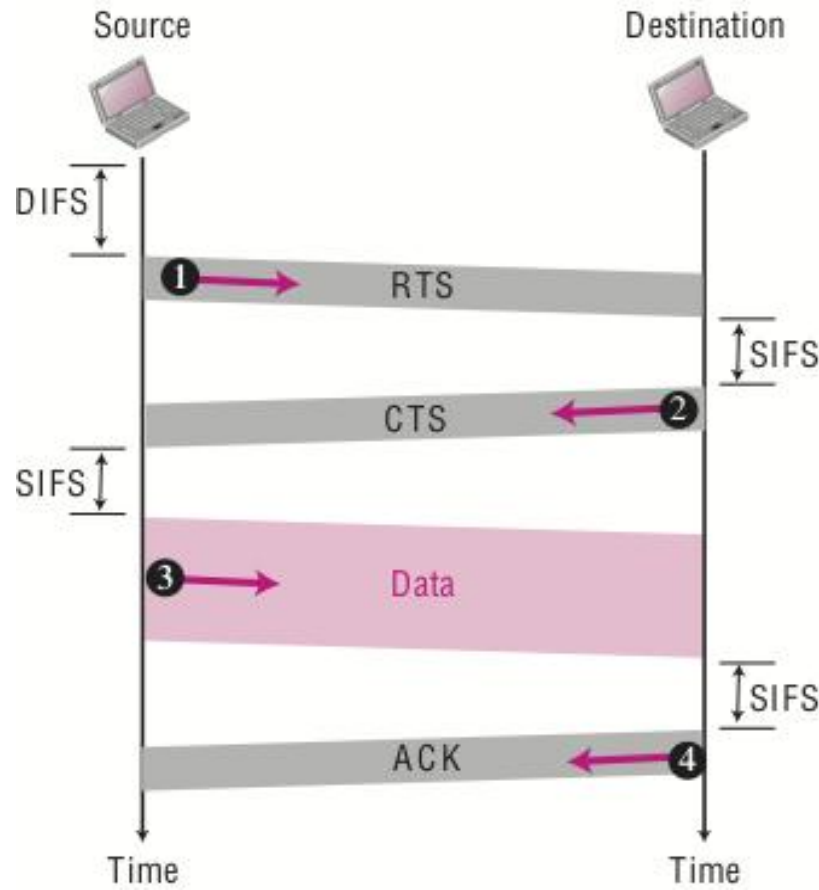


- La estación C quiere transmitir a A y detecta el canal libre (ya que no recibe la señal de B)
- La estación C transmite a la estación A y se produce una colisión



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**
 - Función de coordinación distribuida (cont.)
 - Extensión RTS/CTS
 - Tramas de control para eliminar el problema de la estación oculta
 - RTS: Request To Send (petición para enviar)
 - CTS: Clear to Send (permiso para enviar)



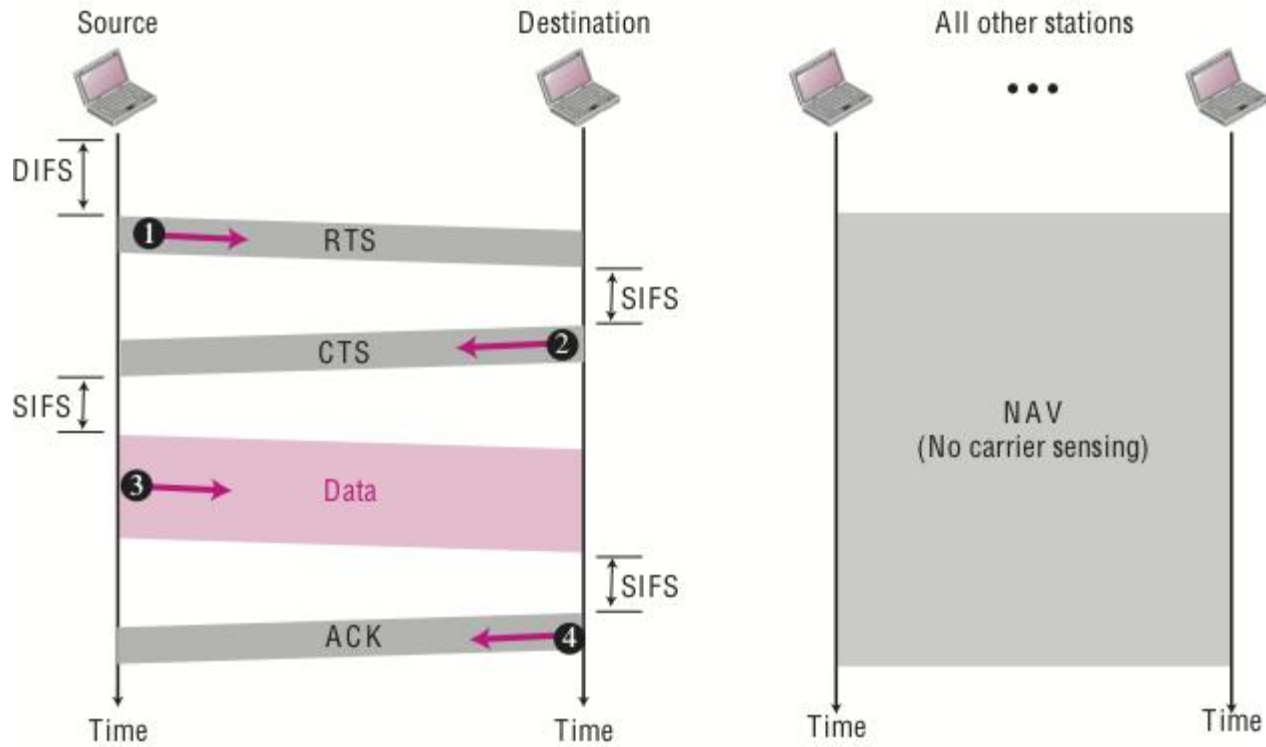
Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**

- Función de coordinación distribuida (cont.)

- Vector de reserva de red (NAV, *Network Allocation Vector*)

- Cuando una estación recibe permiso para enviar (mediante RTS/CTS) el resto de estaciones no deben intentar acceder al medio hasta que finalice la transmisión (hasta la recepción del ACK final)
 - Para ello la trama RTS contiene un parámetro, denominado NAV, que indica el tiempo que la estación solicitante ocupará el canal
 - Durante ese tiempo el resto de estaciones permanecen inactivas



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- Implementaciones físicas de la WiFi

Estándar	Año	Banda de frecuencias	Ancho de banda por canal	Técnica de transmisión	Velocidad de transmisión	Alcance Int./Ext.
802.11	1997	2,4GHz 2,4GHz	20 MHz	FHSS DSSS	1-2 Mbps 1-2 Mbps	20/100 m 20/100 m
802.11a*	1999	5GHz	20 MHz	OFDM	6-54 Mbps	35/120 m
802.11b	1999	2,4GHz	20 MHz	DSSS	1-11 Mbps	35/140 m
802.11g	2003	2,4GHz	20 Mhz	OFDM	6-54 Mbps	38/140 m
802.11n	2009	2,4GHz/5GHz	20 MHz 40 MHz	OFDM OFDM	7-72 Mbps 15-150 Mbps	70/250 m 70/250 m

(* Solo en EEUU)

Glosario:

FHSS = Frequency Hop Spread Spectrum (Espectro expandido con salto de frecuencias)

DSSS = Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro expandido de secuencia directa)

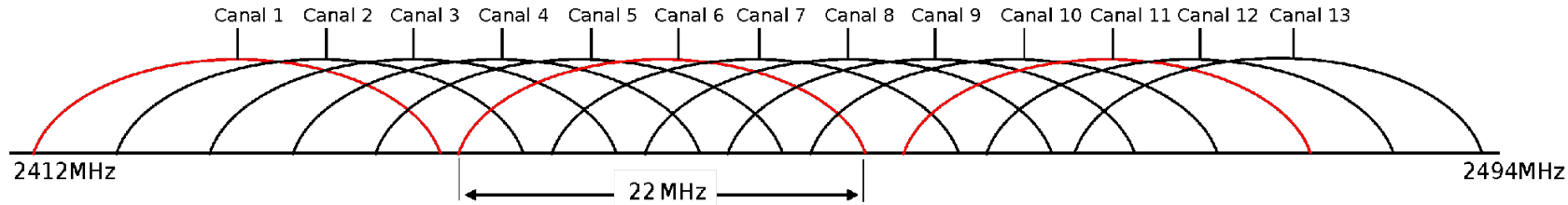
OFDM = Orthogonal frequency-division multiplexing (Multiplexación por división de la frecuencia ortogonal)

Redes LAN inalámbricas (WiFi)

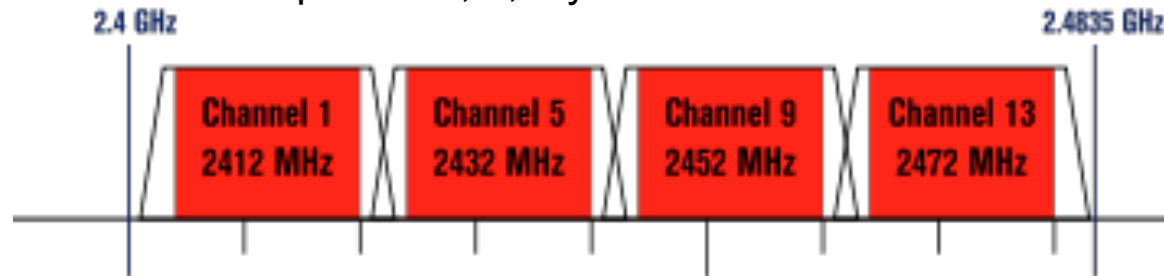
- **Implementaciones físicas de la WiFi (cont.)**

- Solapamiento de canales (banda de 2,4 GHz)

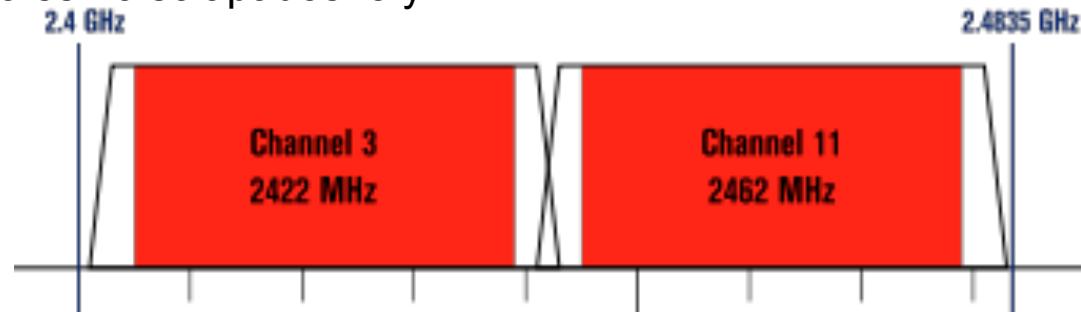
- 802.11b: 13 canales de 22 MHz
 - 3 Canales no solapados: 1, 6 y 11



- 802.11g/n: 13 Canales de 20 MHz (16.25 MHz usados para portadora).
 - 4 canales no solapados: 1, 5, 9 y 13



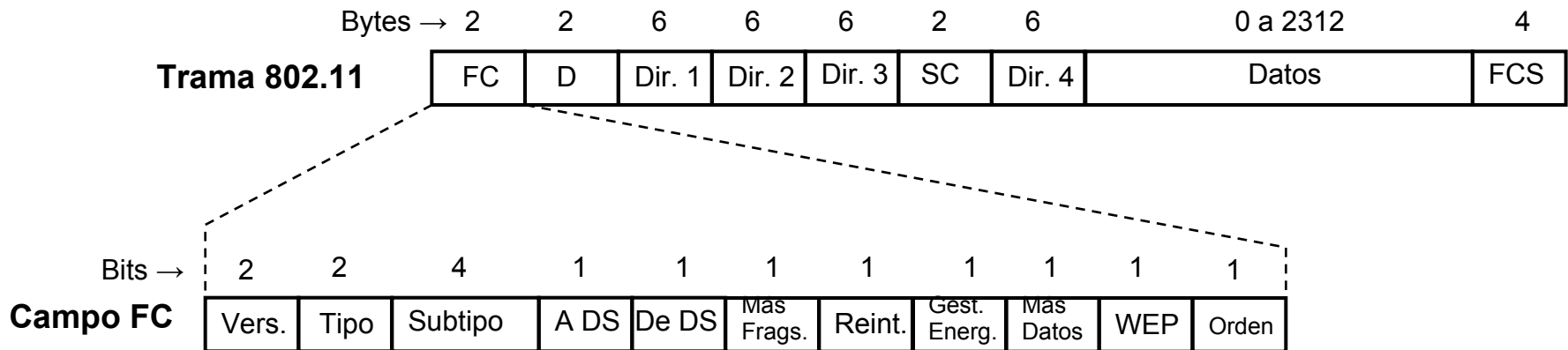
- 802.11n: 13 Canales de 40 MHz (33.75 MHz usados para portadora).
 - 2 canales no solapados: 3 y 11



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Formato de la trama 802.11**

- Tipos de tramas 802.11
 - Tramas de datos.
 - Tramas de control.
 - Por ejemplo: tramas de confirmación (ACK) o tramas RTS y CTS
 - Tramas de gestión.
 - Por ejemplo las tramas de solicitud de asociación al AP
- Formato de la trama



Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Formato de la trama 802.11 (cont.)**

- Campos de la trama MAC 802.11

- **Campo FC (control de trama):** está compuesto de 11 subcampos:

- **Versión de protocolo:** permite el funcionamiento simultáneo en una celda de dos versiones del protocolo.
- **Tipo:** datos (=10), control (=01), gestión (=00).
- **Subtipo:** ejemplos de subtipos, para tramas de control (campo tipo=01), son RTS (subtipo=1011), CTS (subtipo=1100), ACK (subtipo=1001).
- **A DS/De DS:** indica si la trama se dirige o proviene de un sistema de distribución (DS). Se usa para determinar el papel de las cuatro direcciones de la cabecera de la trama
- **Más fragmentos:** se fija a 1 en todas las tramas de datos y gestión si a continuación irá otro fragmento de la trama.
- **Reintento:** se fija a 1 si la trama es la retransmisión de una trama previa.
- **Gestión de energía:** se establece tras la transmisión con éxito de una trama: 1 indica que la estación se pondrá en el modo de ahorro de energía, 0 indica que la estación permanecerá activa.
- **Más datos:** se pone a 1 tanto si el coordinador como la estación tienen más datos por enviar tras esta trama.
- **WEP:** indica que se está haciendo uso del mecanismo estándar de seguridad WEP del 802.11.
- **Orden:** si se fija a 1, las tramas recibidas deben ser procesadas en orden.

Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Formato de la trama 802.11 (cont.)**
 - Campos de la trama MAC 802.11 (cont.)
 - **Campo D (Duración/ID)**
 - Indica -en microsegundos- cuánto tiempo ocuparán el medio la trama y su confirmación.
 - También se usa para establecer la duración del NAV.
 - **Campos de Dirección 1 a 4**
 - Se explica más adelante
 - **Control de secuencia**
 - El esquema de confirmación empleado puede provocar duplicados de tramas o fragmentos.
 - El campo de control de secuencia se usa tanto de las tramas de datos como de las ACK para mantener un número de secuencia.
 - **Campo Datos:**
 - Puede transportar 0-2312 bytes
 - **Campo FCS**
 - CRC de 32 bits

Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Formato de la trama 802.11 (cont.)**

- Direcciones MAC 802.11
 - Significado de las direcciones MAC 802.11

A DS	De DS	Dirección 1	Dirección 2	Dirección 3	Dirección 4
0	0	Destino	Origen	ID de BSS	No usado
0	1	Destino	AP emisor	Origen	No usado
1	0	AP receptor	Origen	Destino	No usado
1	1	AP receptor	AP emisor	Destino	Origen

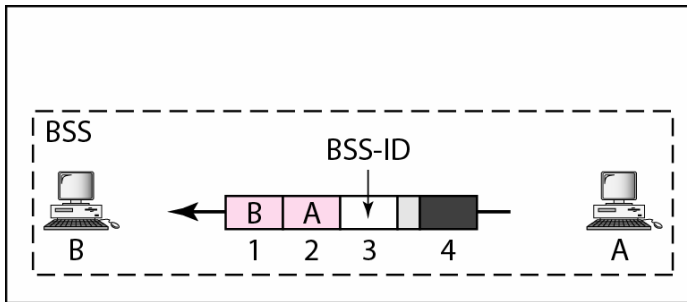
- Casos
 - Caso 1 (00): La trama va de una estación origen a otra destino dentro del mismo BSS sin pasar por un AP (red ad-hoc)
 - Caso 2 (01): La trama procede de un AP y va dirigida a una estación.
 - Caso 3 (10): La trama procede de una estación y va dirigida a un AP.
 - Caso 4 (11): La trama va de un AP a otro AP a través de un sistema de distribución inalámbrico

Redes LAN inalámbricas (WiFi)

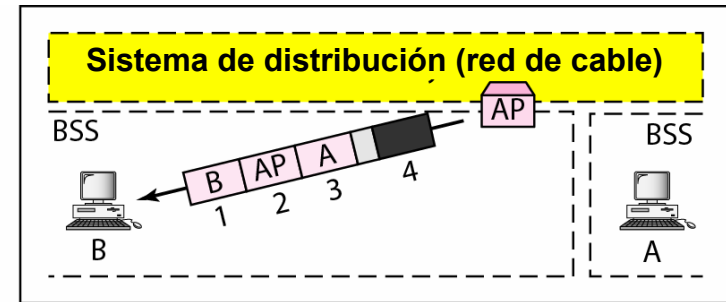
- **Formato de la trama 802.11 (cont.)**

- Direcciones MAC 802.11 (cont.)

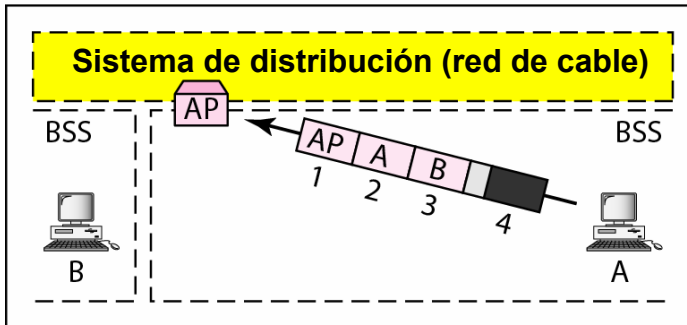
- Casos (cont.)



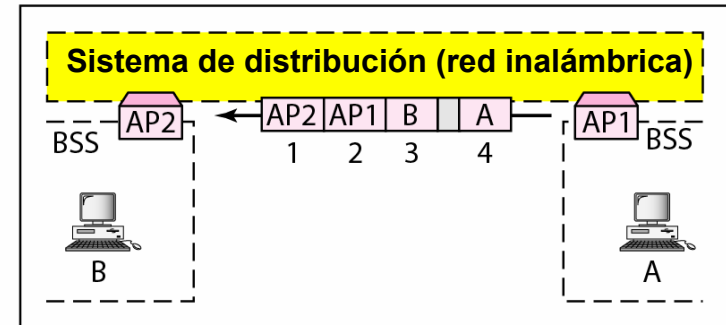
a) Caso 1



b) Caso 2



c) Caso 3



d) Caso 4

Protocolo de enlace LLC

- Repaso: protocolos de redes LAN

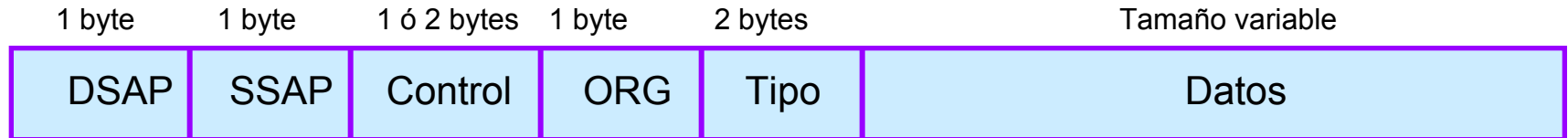
LLC	IEEE 802.2							
MAC	IEEE 802.3 (Ethernet) CSMA/CD	IEEE 802.4 Token Bus	IEEE 802.5 Token Ring	IEEE 802.3u (Fast Ethernet) CSMA/CD	IEEE 802.3z (Gbit Ethernet) CSMA/CD	FDDI Token Ring	IEEE 802.6 DQDB	IEEE 802.11 (WiFi) CSMA/CA
Física	Coax banda base (10 Mbps) Par trenzado (1,10 Mbps) Coax banda ancha (10 Mbps)	Coax banda ancha (1, 5, 10 Mbps) Coax banda portad. (1, 5, 10 Mbps) Fibra óptica (5, 10, 20 Mbps)	Par trenzado (4, 16 Mbps)	Par trenzado (100 Mbps) Fibra óptica (100 Mbps)	Fibra óptica (1 Gbps)	Fibra óptica (100 Mbps)	Fibra óptica (44.7 Mbps, 155.5 Mbps)	Microondas (11-300 Mbps) Infrarrojos (1-10 Mbps)
	LAN			LAN alta velocidad		MAN		Inalámbrica

Protocolo de enlace LLC

- **Características generales de LLC**
 - LLC = control del enlace lógico (*Logic Link Control*)
 - Es el protocolo de enlace de las redes de área local
 - Descrito en el estándar IEEE 802.2
 - LLC está basado en HDLC
 - Formato de trama similar
 - Incluye algunos campos adicionales
 - Mismos tipos de tramas
 - Información (I)
 - Supervisoras (RR, REJ, RNR)
 - Sin numerar (SABM, SABME, DISC, UA, UI, ...)
 - Ofrece dos tipos de servicios
 - Orientados a conexión
 - Sin conexión

Protocolo de enlace LLC

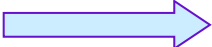
- **Formato de la trama LLC**



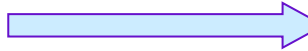
- DSAP y SSAP
 - Puntos de acceso al servicio (SAP = Service Access Point) destino y fuente
 - En el caso de aplicaciones TCP/IP → DSAP = AA (hex); SSAP = AA (hex);
- ORG
 - Código de organización
 - En el caso de aplicaciones TCP/IP → ORG = 00
- Tipo
 - Identifica al protocolo de la capa superior al que pertenecen los datos (similar al campo tipo de Ethernet)
 - Ejemplos:
 - IP → Tipo = 2048 (0800 HEX)
 - ARP → Tipo = 2054 (0806 HEX)
 - Control
 - Tiene el mismo significado que en HDLC
 - Especifica el tipo de trama e información adicional (número de secuencia, número de confirmación, bit P/F, etc.)

Protocolo de enlace LLC

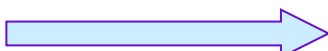
• Tipos de tramas LLC

- Tramas de información (I)  Campo Control =

1	2	3	4	5	6	7	8
0	N(S)		P/F	N(R)			

 - Se utilizan para transmitir datos en servicios orientados a conexión
 - Incluyen nº de secuencia, N(S), y nº de confirmación, N(R)
- Tramas supervisoras  Campo Control =

1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	S	P/F	N(R)			

 - En LLC se usan sólo tres tipos de tramas supervisoras
 - RR (Receptor Ready) → trama de confirmación positiva
 - REJ (Reject) → trama de confirmación negativa para RQ continuo con retroceso-N
 - RNR (Receptor Not Ready) → trama de control de flujo para suspender el envío de tramas
 - No se usan tramas SREJ
- Tramas sin numerar  Campo Control =

1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	M	P/F	M			

 - Las tramas más sin numerar comunes son las siguientes:
 - SABM/SABME → Establecimiento de conexión en modo ABM
 - DISC → Desconexión
 - UA → Confirmación sin numerar
 - UI → Información sin numerar
 - FRMR → Rechazo de trama (formato inválido)
 - RSET → Reinicio de conexión

Protocolo de enlace LLC

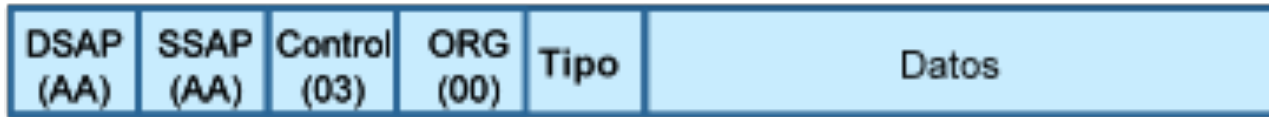
- **Servicios ofrecidos por LLC**
 - Servicios orientados a conexión
 - Establecimiento de conexión
 - Tramas utilizadas: SABM/SABME, UA
 - Transmisión de datos
 - Tramas utilizadas: I, RR, REJ, RNR
 - Desconexión
 - Tramas utilizadas: DISC, UA
 - Servicios sin conexión
 - Transmisión de datos
 - Tramas utilizadas: UI

Protocolo de enlace LLC

- **Ethernet II vs. IEEE 802.3**

- Arquitectura TCP/IP sobre red Ethernet

- IP es un protocolo de red sin conexión (no fiable)
 - No utiliza los mecanismos de control de errores y flujo de la capa de enlace
 - Sólo utiliza el servicio sin conexión de LLC
 - Sólo utiliza tramas de información sin numerar (UI)
- Formato de las tramas LLC de tipo UI (Campo Control = 03)

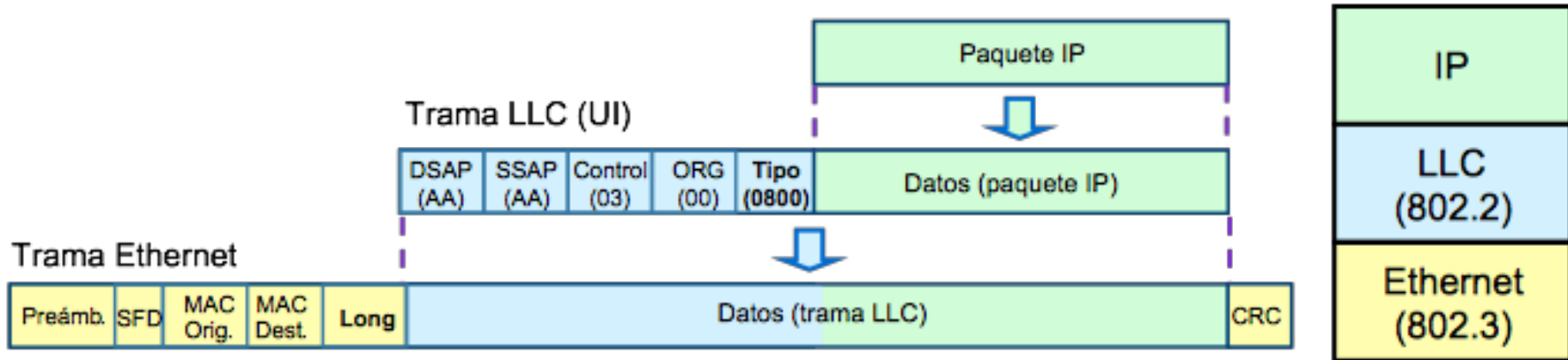


- Los campos DSAP, SSAP, Control y ORG tienen valores fijos
- El único dato relevante en la cabecera de la trama LLC es el campo **Tipo**
 - Identifica al protocolo de la capa superior al que pertenecen los datos
 - En el caso de IP → tipo = 0800 (hex)
- En la arquitectura de TCP/IP sobre Ethernet se puede eliminar el protocolo LLC
 - IP se puede comunicar directamente con Ethernet (versión II)
 - El campo **Tipo** se codifica en la trama Ethernet (en lugar del campo **Longitud**)
 - Para distinguir tramas Ethernet II de tramas 802.3
 - Se utiliza el valor del campo Tipo/Longitud
 - Tramas 802.3 → campo Longitud ≤ 1500 (decimal)
 - Tramas Ethernet II → campo Tipo > 1500 (decimal)

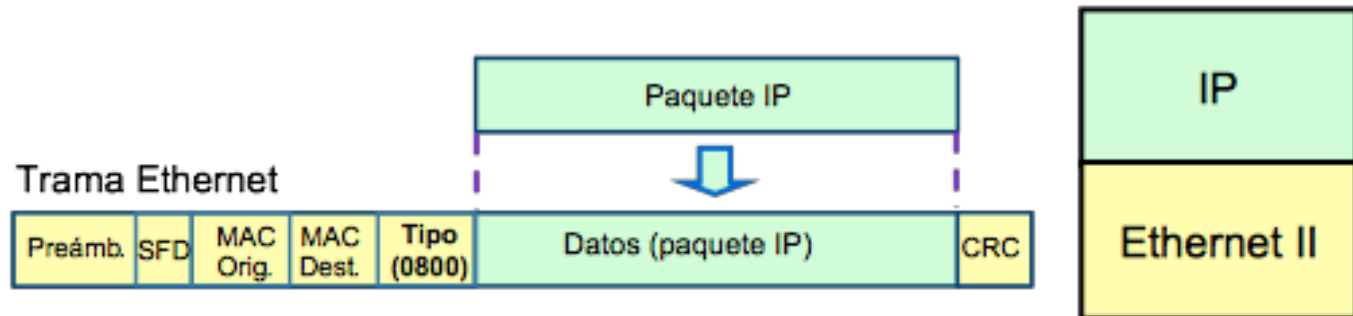
Protocolo de enlace LLC

- **Ethernet II vs. IEEE 802.3**

- Encapsulado de IP sobre LLC (802.2) y Ethernet (802.3)



- Encapsulado de IP sobre Ethernet II



NOTA: En la arquitectura de TCP/IP sobre la red WiFi (802.11) siempre se utiliza LLC