



## **REDES**

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

---

# **TEMA 3. Infraestructura de redes**

### **PROFESORES:**

Julio Septién del Castillo  
Juan Carlos Fabero Jiménez  
Rafael Moreno Vozmediano  
Guadalupe Miñana Roperó  
Sergio Bernabé García  
Sandra Catalán Pallarés

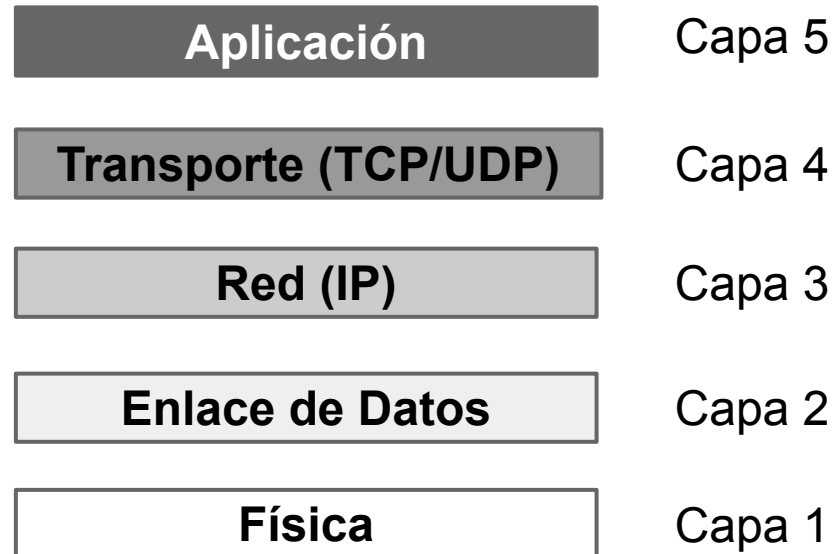
---

# Contenidos

1. La capa de enlace
2. Redes de área local
3. Redes de área extensa
4. Tecnologías de acceso residencial

# Repaso: Arquitectura de protocolos TCP/IP

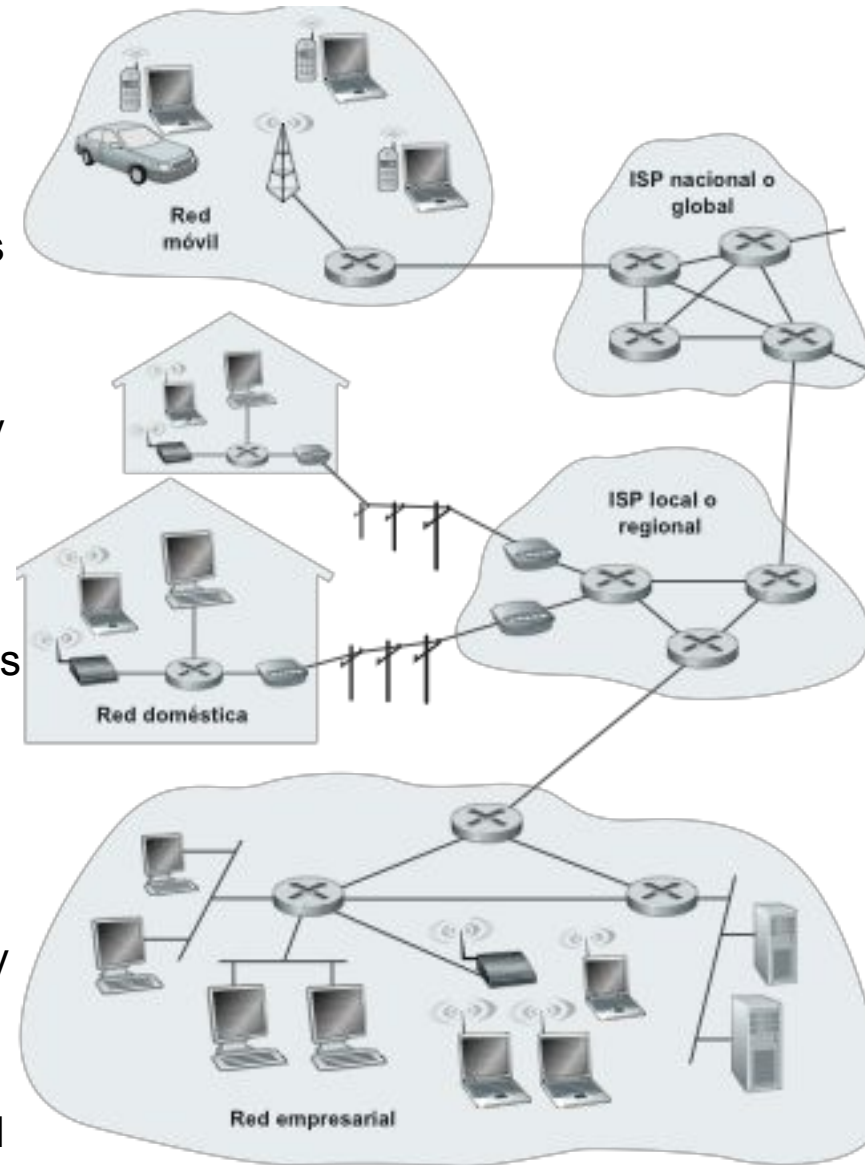
- La arquitectura TCP/IP se suele implementar mediante un modelo de 5 capas



- La organización y función de las capas inferiores (Enlace/Física) dependerá del tipo de infraestructura de red que estemos utilizando:
  - Red de área local o LAN (ej. Ethernet/WiFi)
  - Red troncal (ej. ATM)
  - Red de acceso residencial (ej. ADSL, FTTH)

# Repaso: Principales infraestructuras de red

- Redes troncales (WAN)
  - Se utilizan en los proveedores de acceso a Internet (ISP)
  - Pueden utilizar distintos tipos de tecnologías: redes telefónicas, redes de datos conmutadas (ATM) y redes de telefonía móvil
- Redes de área local (LAN)
  - Usadas en redes de empresas, instituciones y domicilios particulares
  - Las tecnologías LAN más extendidas son Ethernet y WiFi
  - Pueden estar conectadas a las redes troncales de los ISP mediante una conexión directa (dedicado) entre routers o una conexión de acceso residencial
- Tecnologías de acceso residencial
  - Permiten conectar los domicilios particulares y empresas a los ISP
  - Las tecnologías más empleadas son: modem convencional, módem de cable, ADSL y FTTH

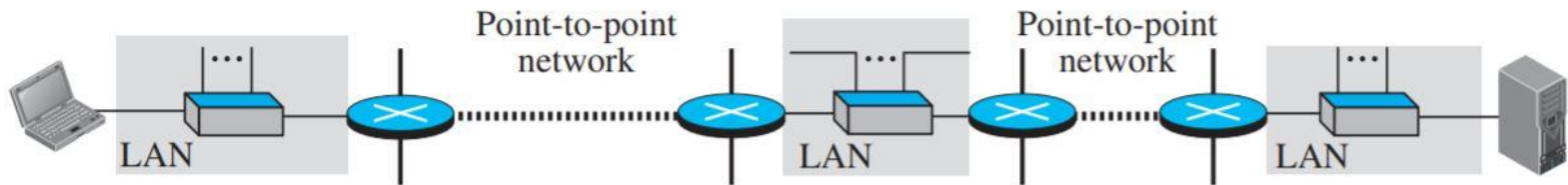


---

# **1. La capa de enlace**

- Elementos básicos
- Tipos de enlace
- Funciones y servicios de la capa de enlace
- Protocolos de enlace

# Capa de enlace: elementos básicos



a. A small part of the Internet



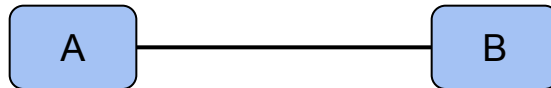
b. Nodes and links

# Capa de enlace: tipos de enlaces

- **Tipos de enlace de datos**

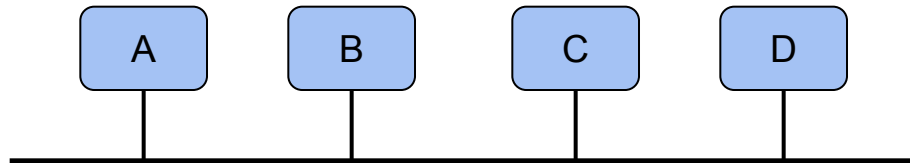
- Punto a punto (point-to-point)

- Enlace dedicado a la interconexión de dos dispositivos



- Multipunto (multipoint)

- Enlace compartido entre varios dispositivos



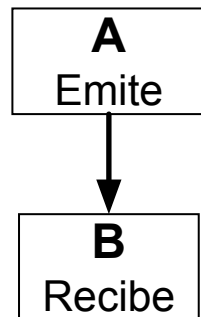
- **¿Para qué sirve la capa de enlace?**

- Proporcionar los servicios y mecanismos necesarios para convertir un enlace físico (medio de transmisión), propenso a posibles errores de transmisión, en un enlace lógico libre de errores

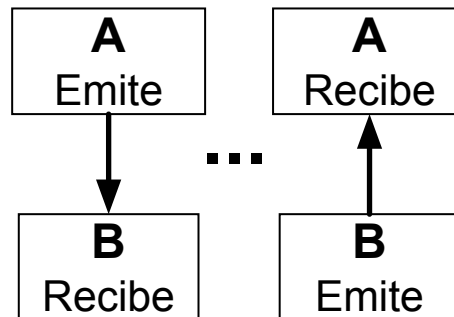
# Capa de enlace: modos de transmisión

- **Modos de transmisión**

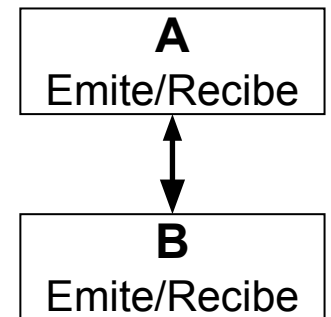
- **Los enlaces** que interconectan las estaciones de una red se pueden clasificar en tres tipos **según el sentido de las comunicaciones** que transportan:
  - **(A) Símplex:** La transacción sólo se efectúa en un solo sentido
  - **(B) Half-dúplex:** La transacción se realiza en ambos sentidos, pero de forma alternativa
  - **(C) Full-dúplex:** La transacción se puede llevar a cabo en ambos sentidos simultáneamente



**(A)**



**(B)**



**(C)**



# Capa de enlace: funciones

---

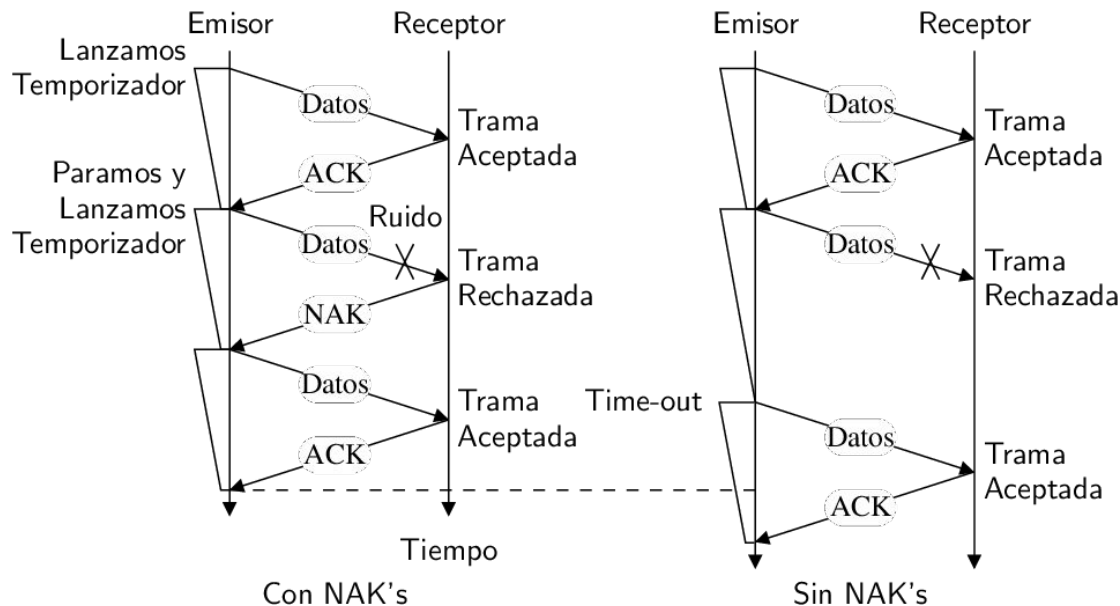
- **Funciones de la capa de enlace (enlaces punto a punto y multipunto)**
  - Ofrecer servicios a la capa superior
    - Servicios orientados a conexión o sin conexión
    - Servicios fiables o no fiables
  - Entramado
    - Construir tramas de datos según el formato específico del protocolo
    - Delimitar el inicio y el fin de cada trama para que el receptor pueda reconocer y procesar cada trama de forma individual
  - Gestión de errores
    - Detección: incorporar los mecanismos necesarios para detectar los errores de transmisión.
    - Recuperación: utilizar los mecanismos necesarios para retransmitir trama erróneas (en el caso de servicios fiables)
  - Control de flujo
    - Incorporar los mecanismos necesarios para controlar el flujo de transmisión y evitar que el emisor pueda saturar a un receptor más lento

# Capa de enlace: Detección de errores

- **Detección de errores:** mediante información redundante que se agrega al final de la trama en el emisor y se recalcula y compara en el receptor.
- **Dos técnicas principales:**
  - **Checksum:** basado en paridad. Muy poco robusto.
  - **CRC: Códigos de redundancia cíclica (códigos polinómicos):**
    - Más capacidad para detectar ráfagas de errores
    - El emisor divide (módulo 2, solo XOR por HW) la secuencia de bits a transmitir entre una secuencia binaria fija (“polinomio generador”) de  $n+1$  bits.
    - Se genera un resto de  $n$  bits, que se agrega a la trama como información redundante.
    - Existen CRC-32, CRC-16, etc... estándares, que generan información redundante de 32 bits, 16 bits, etc.

# Capa de enlace: ARQ

- **Recuperación errores técnica ARQ (Retransmisión automática)**
  - Por cada trama enviada el emisor debe recibir un mensaje de confirmación ACK desde el receptor.
  - Al enviar, el emisor pone en marcha un temporizador. Si se agota sin recibir el ACK, se retransmite la trama automáticamente.
  - Si el receptor recibe la trama con errores, puede simplemente no enviar el ACK, o enviar una mensaje NAK.
  - Al recibir un NAK, el emisor reenvía la trama sin esperar al temporizador.



# Capa de enlace: funciones

---

- **Funciones adicionales en caso de enlaces multipunto**
  - Direcccionamiento en el nivel de enlace
    - Identificar a cada una de las estaciones conectadas a un enlace multipunto mediante algún tipo de dirección
    - Identificar la dirección origen y destino de cada trama
      - ¿De qué estación procede la trama?
      - ¿A qué estación o estaciones va dirigida la trama?
  - Detección y resolución de colisiones
    - 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

# Capa de enlace: servicios

---

## Tipos de servicio de enlace de datos

- **Servicios orientados a conexión y fiables**
  - Los protocolos de enlace orientados a conexión incluyen tres fases
    - Establecimiento de la conexión de enlace
    - Transmisión de datos
    - Finalización de la conexión de enlace
  - Garantizan la entrega fiable de tramas
    - Se detectan los errores de la transmisión y se descartan las tramas erróneas
    - Todas las tramas perdidas o erróneas se retransmiten
    - Se detectan y descartan todas las tramas duplicadas
    - Las tramas se entregan a la capa superior ordenadas y libres de errores
    - Se realiza el control de flujo entre el emisor y el receptor
  - Para llevar a cabo el control de errores, se utilizan
    - Técnicas de detección de errores
    - Numeración de tramas
    - Confirmación de todas las tramas recibidas correctamente
    - Retransmisión de tramas no confirmadas

# Capa de enlace: servicios

## Tipos de servicio de enlace de datos (cont.)

- **Servicios sin conexión**

- No hay fases de establecimiento o fin de conexión
  - Cada trama se considera independiente del resto
- Servicio no fiable: no garantiza la entrega fiable de tramas
  - Se detectan los errores de la transmisión y se descartan las tramas erróneas
  - Las tramas perdidas o erróneas no se retransmiten
  - Las tramas correctas no se confirman
  - No se detectan ni descartan posibles tramas duplicadas
  - Las tramas se entregan a la capa superior en el orden en que llegan
  - No se realiza el control de flujo entre el emisor y el receptor
- Servicio fiable: garantiza la entrega correcta
  - Se emplea una confirmación trama a trama sin número de secuencia.

## Ejemplos de protocolos de enlace

- HDLC
- PPP
- LLC (usando en redes LAN)

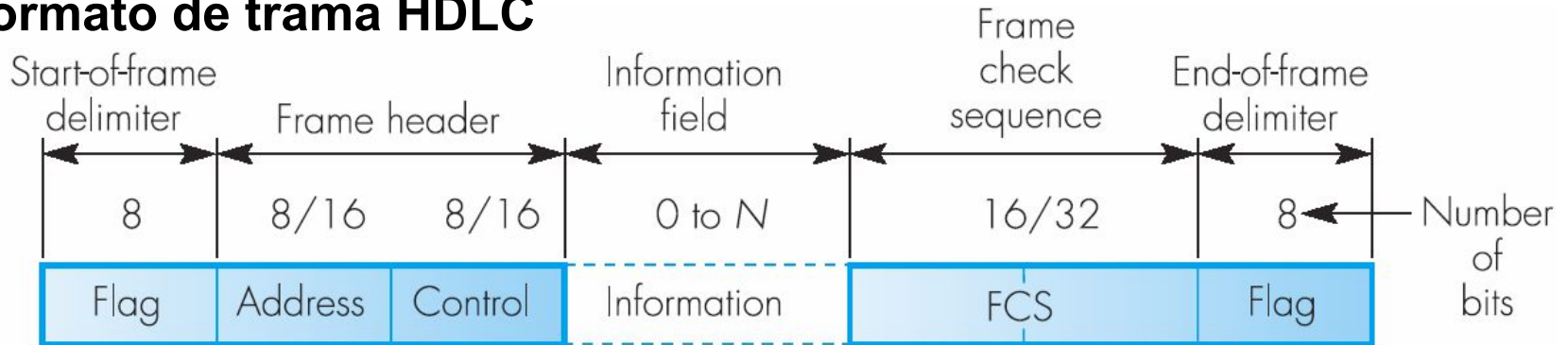
# Capa de enlace: protocolo HDLC

## ● El protocolo HDLC

- HDLC = High-level Data Link Control (Control de enlace de datos de alto nivel)
- Protocolo de enlace que ofrece servicios orientados a conexión y sin conexión
- Modos de funcionamiento
  - NRM: modo normal de respuesta (*Normal Response Mode*) (enlaces multipunto)
    - Modelo de comunicación half-duplex maestro-esclavo
    - Las estaciones esclavas sólo pueden transmitir cuando la estación maestra lo ordena específicamente
  - ABM: Modo equilibrado asíncrono (*Asynchronous Balanced Mode*) (punto a punto)
    - Modelo de comunicación full-duplex computador-computador
    - Todas las estaciones tienen la misma categoría
    - Cualquier estación puede transmitir en cualquier momento a través del enlace
- Tipos de tramas
  - Información (tramas I)
    - Transportan datos de la capa superior (servicio con conexión y fiable)
  - Supervisoras (tramas S)
    - Confirmación de tramas, control de flujo y control de errores
  - Sin numerar (tramas U)
    - Conexión, desconexión, confirmación de tramas sin numerar, rechazo de trama (formato incorrecto), reiniciar conexión, información sin numerar (servicio sin conexión)

# El protocolo HDLC

## • Formato de trama HDLC



### ○ Campos

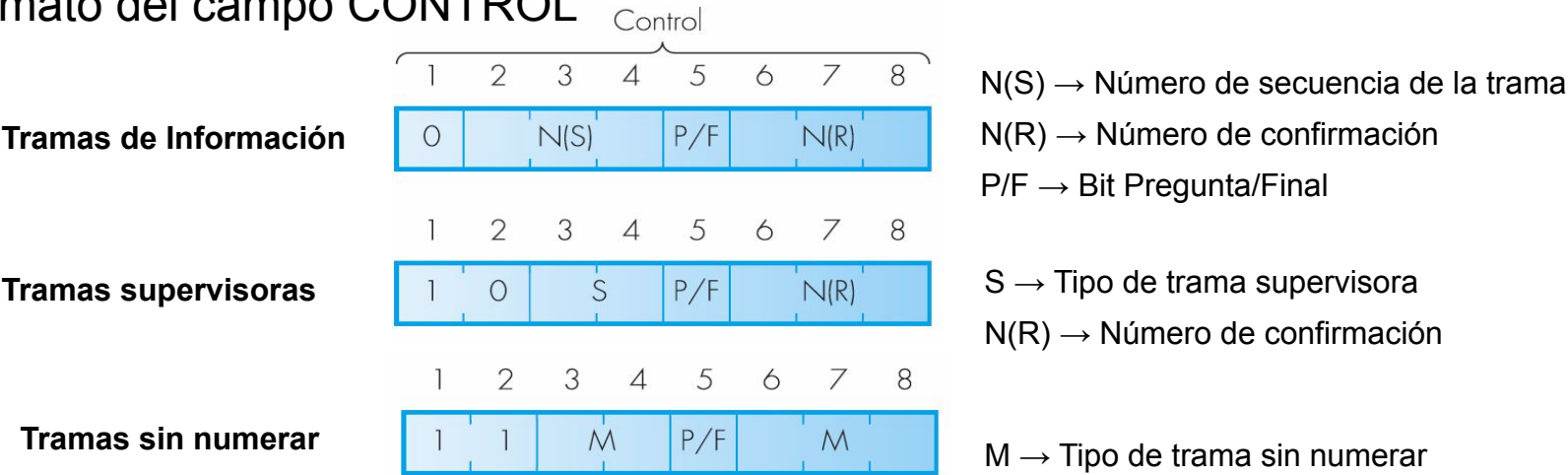
- Banderas de inicio y fin (*flags*)
  - Patrón de bits = 01111110
  - Utiliza inserción y eliminación de bits cero para garantizar que el patrón no aparece dentro de la secuencia de bits
- Campo FCS: secuencia de comprobación de trama
  - CRC de 16 bits que se calcula usando el generador polinómico:  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
- Campo dirección (Address)
  - En modo NRM: especifica la dirección del esclavo
  - En modo ABM: en conexiones ABM punto a punto, el campo dirección se pone a valor 11111111 (dirección de difusión)
- Campo Control
  - Especifica el tipo de trama e información adicional (número de secuencia, número de confirmación, bit P/F, etc.)
  - Se detalla a continuación



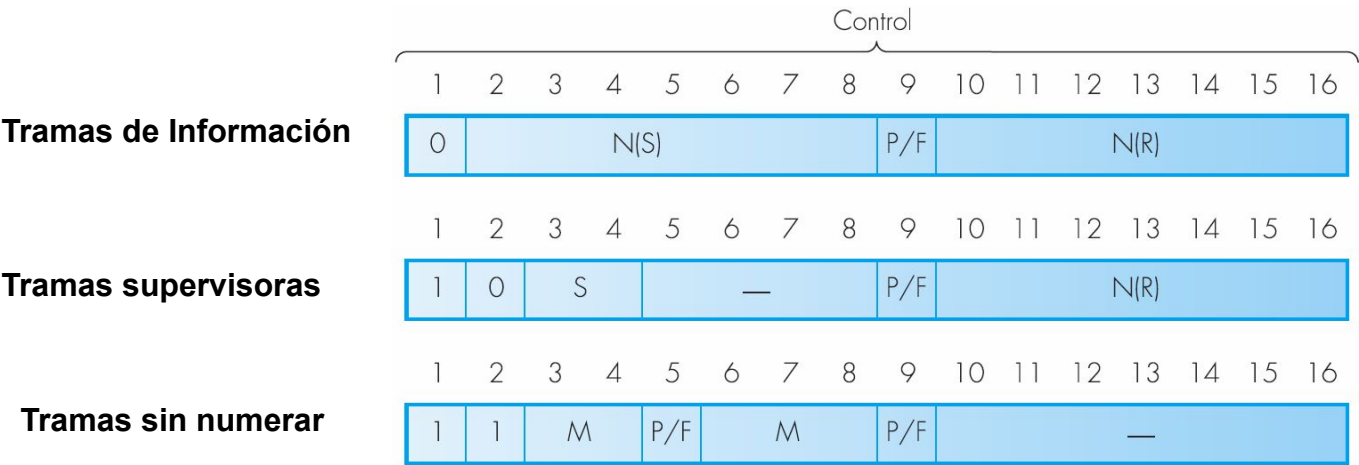
# Capa de enlace: protocolo HDLC

- Tipos de tramas HDLC

- Formato del campo CONTROL



- Formato del campo CONTROL en tramas extendidas



# Capa de enlace: protocolo HDLC

- **Tramas de información (tramas de tipo I)**
  - Tramas que transportan datos de la capa superior
  - Números de secuencia, N(S)
    - Se utiliza para control de errores y flujo
    - Pueden ser de 3 bits (conexión normal) o de 7 bits (conexión extendida)
      - N° secuencia de 3 bits → 8 identificadores distintos (valores 0 a 7)
      - N° secuencia de 7 bits → 128 identificadores distintos (valores 0 a 127)
  - Números de confirmación, N(R)
    - Se utiliza para enviar confirmaciones superpuestas (técnica de *piggy-backing*)
      - Puesto que la conexión es de tipo full-duplex, se puede adjuntar la confirmación a los datos que viajan en sentido contrario
      - En caso de no existir tráfico en sentido contrario, las confirmaciones deben enviarse en tramas de confirmación explícitas
    - El número de confirmación contiene el identificador de la siguiente trama que se espera recibir
  - Bit P/F (Pregunta/Final)
    - Se utiliza sobre todo en modo NRM: el maestro pone el bit P/F a 1 para indicar al esclavo que debe confirmar la trama
    - También se usa cuando no se recibe la confirmación de una trama y expira el temporizador

# Capa de enlace: protocolo HDLC

- **Tramas supervisoras**

- **Tramas de tipo RR** (*Receptor Ready*, receptor preparado, S=00)
  - Es una trama de confirmación (similar a ACK)
  - Se utiliza para confirmar tramas de datos, en caso de no existir tráfico en sentido contrario
  - El número de confirmación, N(R), contiene el identificador de la siguiente trama que se espera recibir
- **Tramas de tipo REJ** (*Reject*, rechazo, S=01)
  - Es una trama de confirmación negativa (similar a NAK) para implementar el mecanismo RQ continuo con retroceso-N
  - Cuando el receptor recibe una trama errónea, devuelve una trama REJ, indicando en el n° de confirmación, N(R), el identificador de la siguiente trama que espera recibir.
  - El receptor descartará todas las tramas recibidas a continuación, hasta recibir la trama indicada en el campo N(R)
  - El emisor debe retransmitir todas las tramas, a partir la trama indicada en el campo N(R)

# Capa de enlace: protocolo HDLC

- **Tramas supervisoras (cont)**
  - **Tramas de tipo SREJ** (*Selective Reject*, rechazo selectivo, S=11)
    - Es una trama de confirmación negativa (similar a NAK) para implementar el mecanismo RQ continuo con repetición selectiva
    - Cuando el receptor recibe una trama de información errónea, devuelve una trama SREJ, indicando en el nº de confirmación, N(R), el identificador de la trama que debe retransmitir el emisor
    - El emisor retransmite únicamente la trama especificada en el campo N(R)
  - **Tramas de tipo RNR** (*Receptor Not Ready*, receptor no preparado, S=10)
    - Se utiliza para controlar el flujo: permite al receptor indicar al emisor que suspenda temporalmente el envío de tramas
    - Esta trama confirma todas las tramas de información anteriores a la trama indicada en el número de confirmación, N(R), pero sin incluir ésta
    - Al recibir una trama RNR, el emisor debe detener inmediatamente el envío de nuevas tramas de información
    - Cuando el receptor está en condiciones de recibir nuevas tramas de información, debe enviar una trama supervisora de tipo RR.

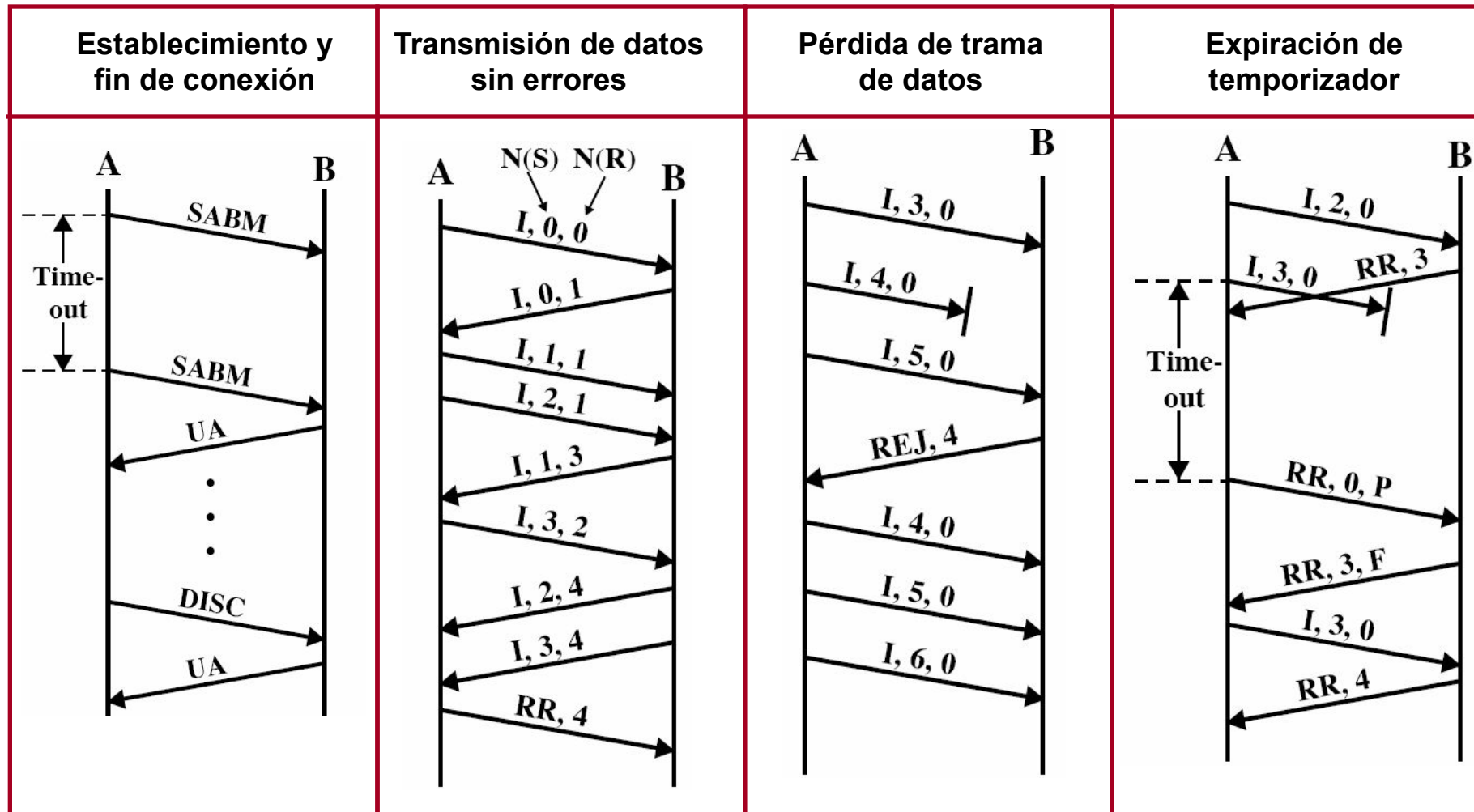
# Capa de enlace: protocolo HDLC

- Tramas sin numerar

Nombre	Significado	Descripción
SNRM	Set NRM	Establecimiento de conexión de enlace en modo NRM (números de secuencia de 3 bits)
SABM	Set ABM	Establecimiento de conexión de enlace en modo ABM (números de secuencia de 3 bits)
SNRME	Set NRM Extended	Establecimiento de conexión de enlace en modo NRM extendido (números de secuencia de 7 bits)
SABME	Set ABM Extended	Establecimiento de conexión de enlace en modo ABM extendido (números de secuencia de 7 bits)
DISC	Disconnect	Solicitud de desconexión
UA	Unnumbered ACK	Confirmación de tramas sin numerar
UI	Unnumbered Information	Información sin numerar
FRMR	Frame Reject	Rechazo de trama por tener un formato inaceptable
RSET	Reset	Reiniciar conexión (reinicia los números de secuencia y confirmación)

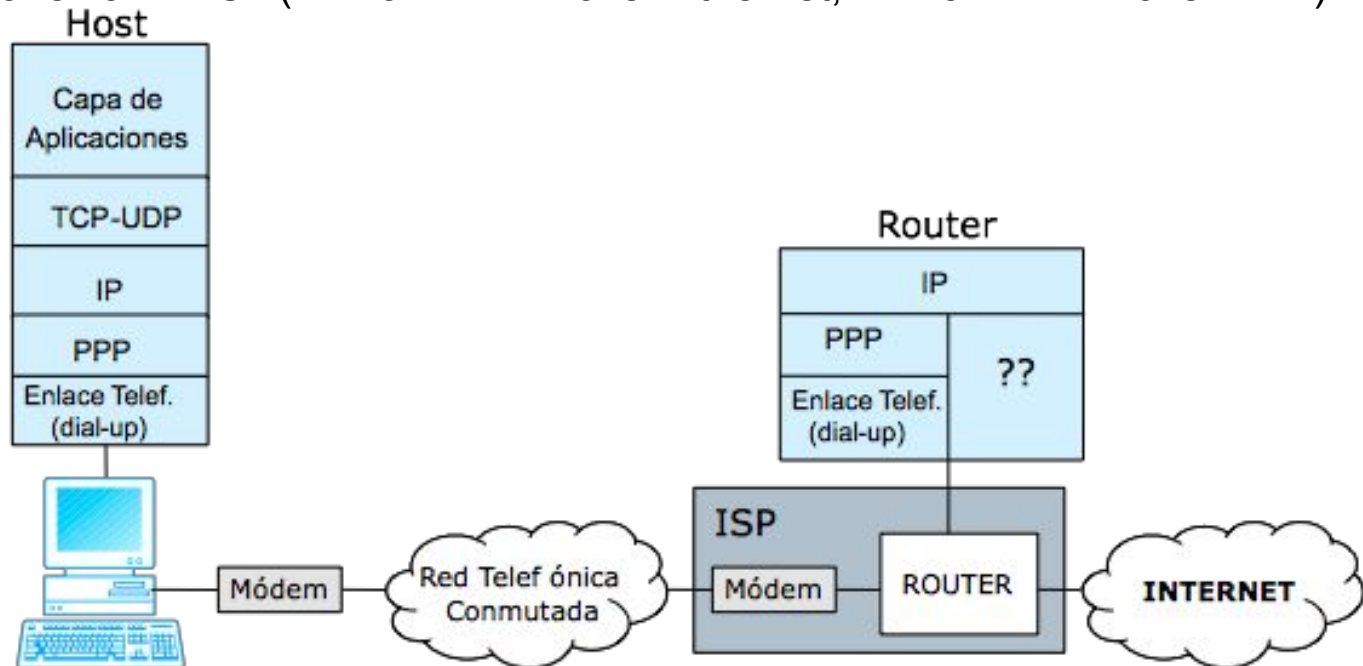
# Capa de enlace: protocolo HDLC

- Ejemplos de funcionamiento de HDLC



# Capa de enlace: protocolo PPP

- **PPP = Point-to-Point Protocol (Protocolo punto a punto)**
  - Protocolo de enlace sin conexión basado en HDLC
    - Formato de trama similar a HDLC
    - PPP sólo ofrece servicios de enlace sin conexión
  - Se utiliza para encapsular tráfico IP (u otros protocolos de red) sobre enlaces punto a punto, por ejemplo:
    - Conexión telefónica mediante módem convencional entre el usuario y su proveedor de acceso a Internet (ISP)
    - Conexión ADSL (PPPoE = PPP over Ethernet, PPPoA = PPP over ATM)



# Capa de enlace: protocolo PPP

---

- **Funciones de PPP**

- **Control del enlace**

- Permite realizar el establecimiento y configuración de la conexión de enlace
    - Permite negociar algunas opciones la conexión: tamaño máximo de trama, protocolo de autenticación utilizado, etc.
    - Se realiza mediante el protocolo LCP (Link Control Protocol)

- **Autenticación del usuario**

- Permite al usuario autenticarse en el proveedor de acceso a Internet (ISP) mediante un nombre de usuario y una contraseña
    - Existen dos protocolos de autenticación
      - PAP (Password Authentication Protocol)
      - CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol)

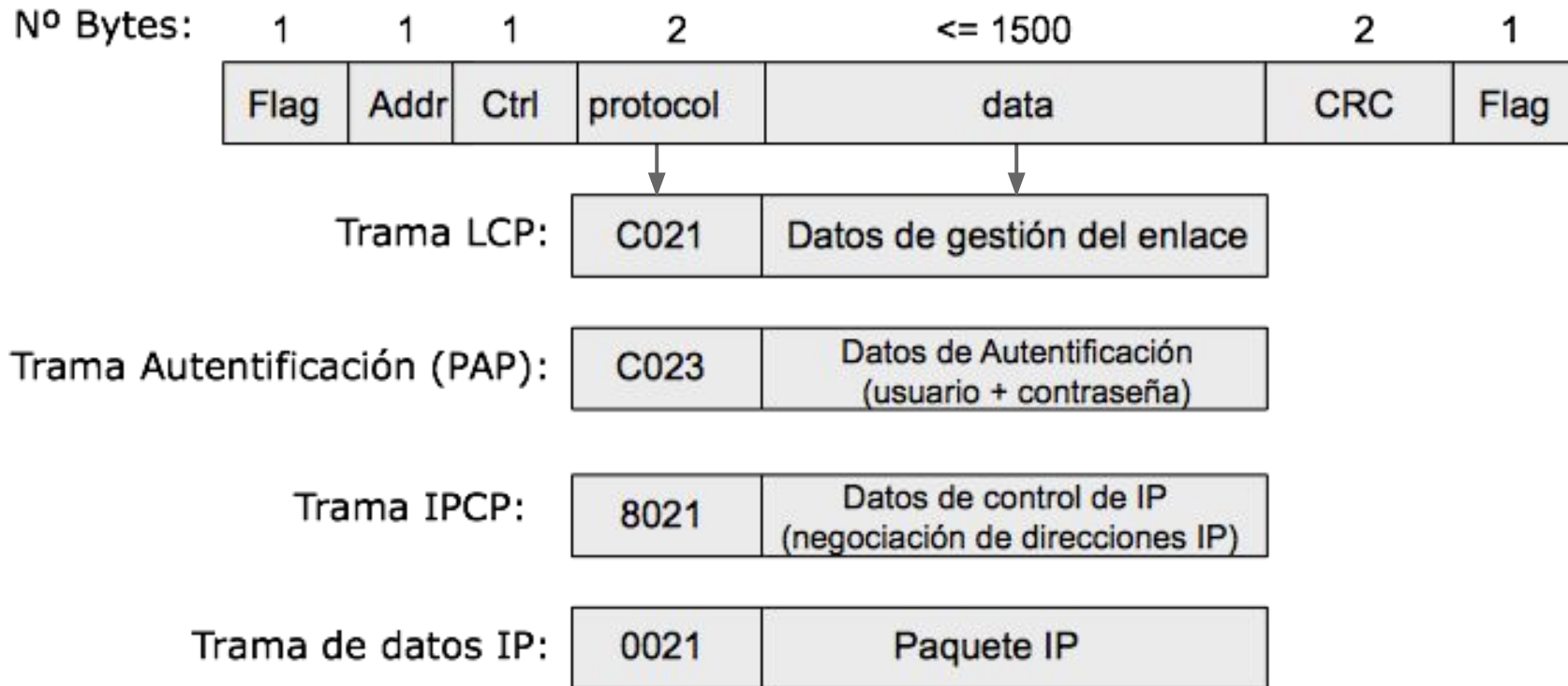
- **Gestión del protocolo de red**

- Permite negociar la dirección IP del cliente
    - Se realiza mediante el protocolo IPCP (IP Control Protocol)



# Capa de enlace: protocolo PPP

- Formato de la trama PPP



- Campos de la trama

- **Flags de inicio y fin:** similar a HDLC (valor 01111110)
- **Campo dirección (Addr):** Utiliza dirección HDLC de difusión (valor 1111111)
- **Campo control (Ctrl):** Tramas sin numerar de tipo UI (valor 11000000)
- **Campo protocolo:** código del protocolo que se encapsula en el campo datos
- **Campo CRC:** código de detección de errores

---

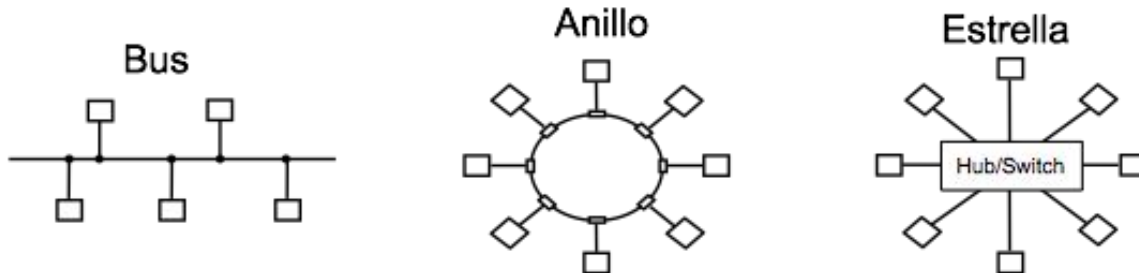
## **2. Redes de área local (LAN)**

- Tipos y protocolos de redes de área local
- Redes Ethernet
- Redes WiFi

# 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

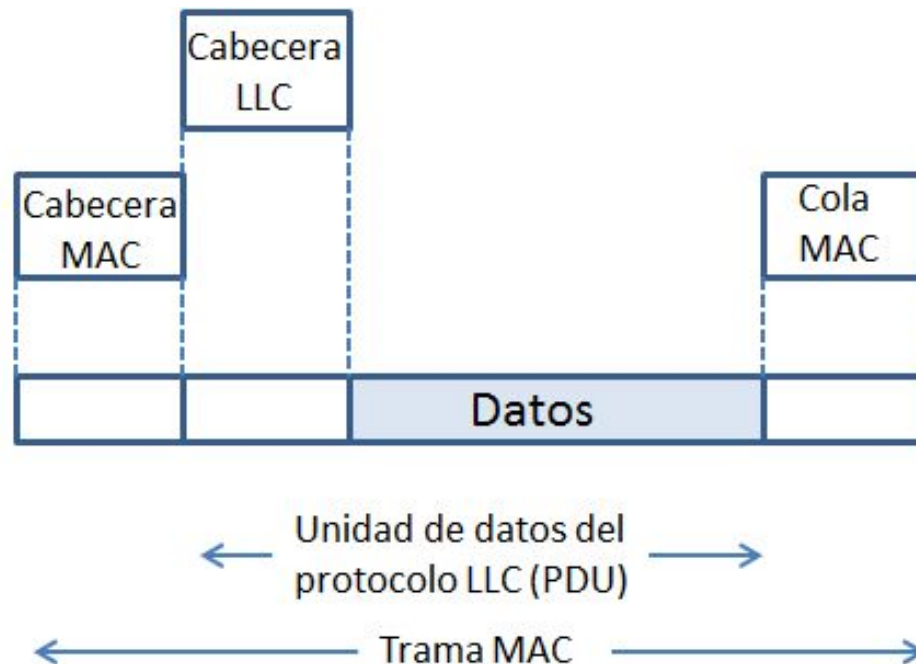
# Dispositivos de conexión de redes LAN

---

- Concentrador (hub)
  - Dispositivo repetidor
  - Funciona a nivel físico (nivel 1)
  - Regenera la información y la retransmite por todas sus salidas (puertos)
- Conmutador (switch)
  - Funciona en el nivel de enlace (nivel 2): entiende el formato de la trama
  - Tiene capacidad de filtrado
    - Comprueba dirección física
    - Retransmite la información sólo por la salida adecuada
- Puente (bridge)
  - El bridge interconecta LAN de distinta tecnología (ej. Ethernet y WiFi) y convierte los formatos de trama de una red a otra
- Punto de acceso inalámbrico (AP, Access Point)
  - Similar a un hub inalámbrico, pero con funciones adicionales
  - Gestiona una celda inalámbrica
  - Modifica algunos campos de la cabecera de la trama (funciona, por tanto, en el nivel 2)

# Protocolos de redes LAN

- Protocolo de referencia IEEE 802
- Divide la capa de enlace en dos subniveles
  - Control de enlace lógico (LLC, Logical Link Control)
    - Interfaz con las capas superiores
    - Control de errores y flujo si las capas superiores lo demandan
  - Control de acceso al medio (MAC, Media Access Control)
    - Ensamblado y desensamblado de tramas con campos de dirección
    - Control de acceso al medio de transmisión LAN



# 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	

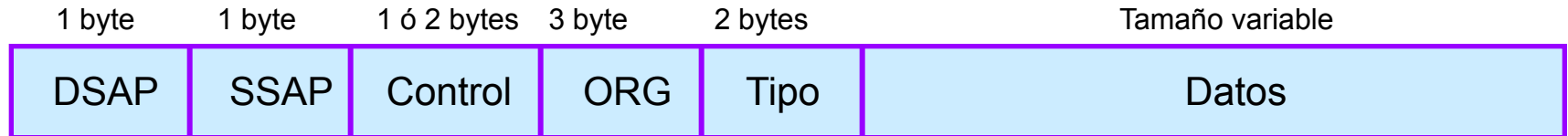
# Protocolo LLC

---

- **LLC = Logical Link Control (Control de enlace lógico)**
  - Es el protocolo de enlace de las redes de área local
  - Descrito en el estándar IEEE 802.2
  - Ofrece dos tipos de servicios
    - Orientados a conexión
      - Establecimiento de conexión
        - Tramas sin numerar: tipo SABM/SABME, UA
      - Transmisión de datos
        - Tramas de datos: tipo I
        - Tramas supervisoras: tipo RR, REJ, RNR (no se usan tramas SREJ)
      - Desconexión
        - Tramas sin numerar: tipo DISC, UA
    - Sin conexión
      - Sólo transmisión de datos
        - Tramas sin numerar: tipo UI
- IP sobre LLC utiliza únicamente servicios sin conexión

# Protocolo LLC

- **Formato de la trama LLC sin conexión**



- DSAP y SSAP
  - Puntos de acceso al servicio (SAP = Service Access Point) destino y fuente
  - En el caso de aplicaciones TCP/IP → DSAP = 0xAA y SSAP = 0xAA
- ORG
  - Código de organización
  - En el caso de aplicaciones TCP/IP → ORG = 0x000000
- Tipo
  - Identifica al protocolo de la capa superior al que pertenecen los datos

Ejemplos:

  - IP → Tipo = 2048 (0x0800)
  - ARP → Tipo = 2054 (0x0806)
  - 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.)

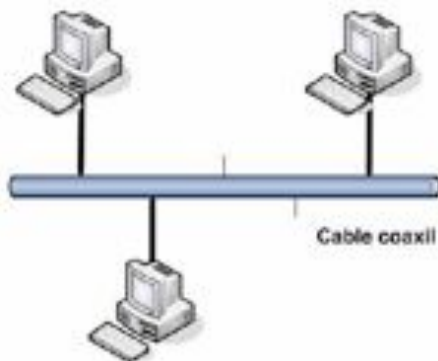


# Redes LAN Ethernet

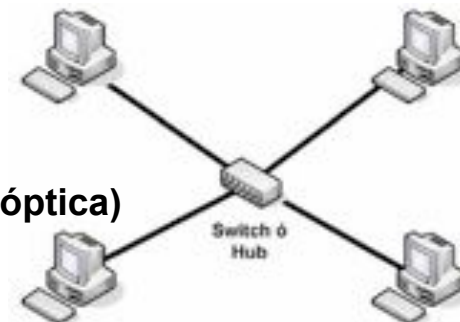
- **Introducción**

- 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)**

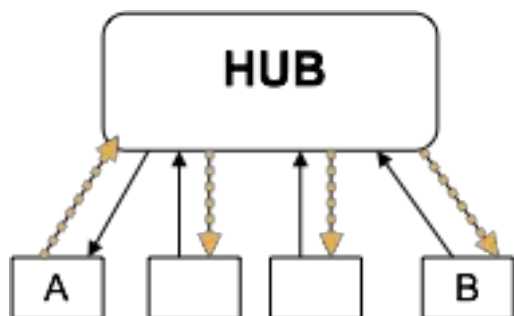
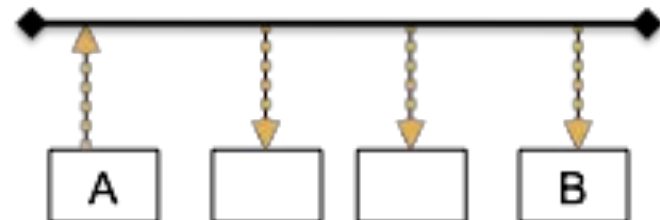


- Evolución de redes Ethernet
  - 1983-1990: Ethernet (802.3, 802.3a, 802.3i) → 10 Mbps
  - 1995: Fast Ethernet (802.3u) → 100 Mbps
  - 1998-1999: Gigabit Ethernet o GbE (802.3z, 802.3ab) → 1 Gbps
  - 2003-2006: 10Gigabit Ethernet o 10GbE (802.3ae, 802.3an) → 10 Gbps
  - 2010: 100Gigabit Ethernet o 100GbE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

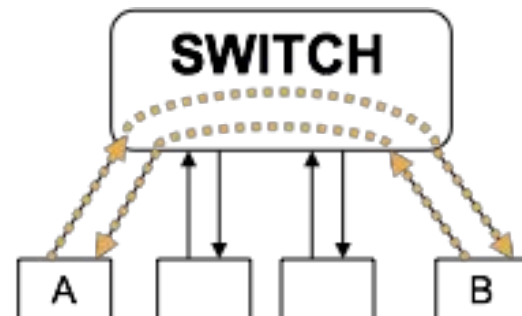
# Redes LAN Ethernet

- **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

---

- **Protocolo MAC de Ethernet**

- Ethernet utiliza el protocolo de control de acceso al medio CSMA/CD, que está basado en CSMA
  - CSMA = *Carrier Sense Multiple Access* (acceso múltiple con detección de portadora)
  - CSMA/CD = *Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection* (acceso múltiple con detección de portadora / detección de colisiones)
  - Ambos son protocolos MAC distribuidos con posibilidad de colisión
  - La variante CSMA/CD es más eficiente, ya que permite anticipar la detección de colisiones y la retransmisión de tramas

# Redes LAN Ethernet

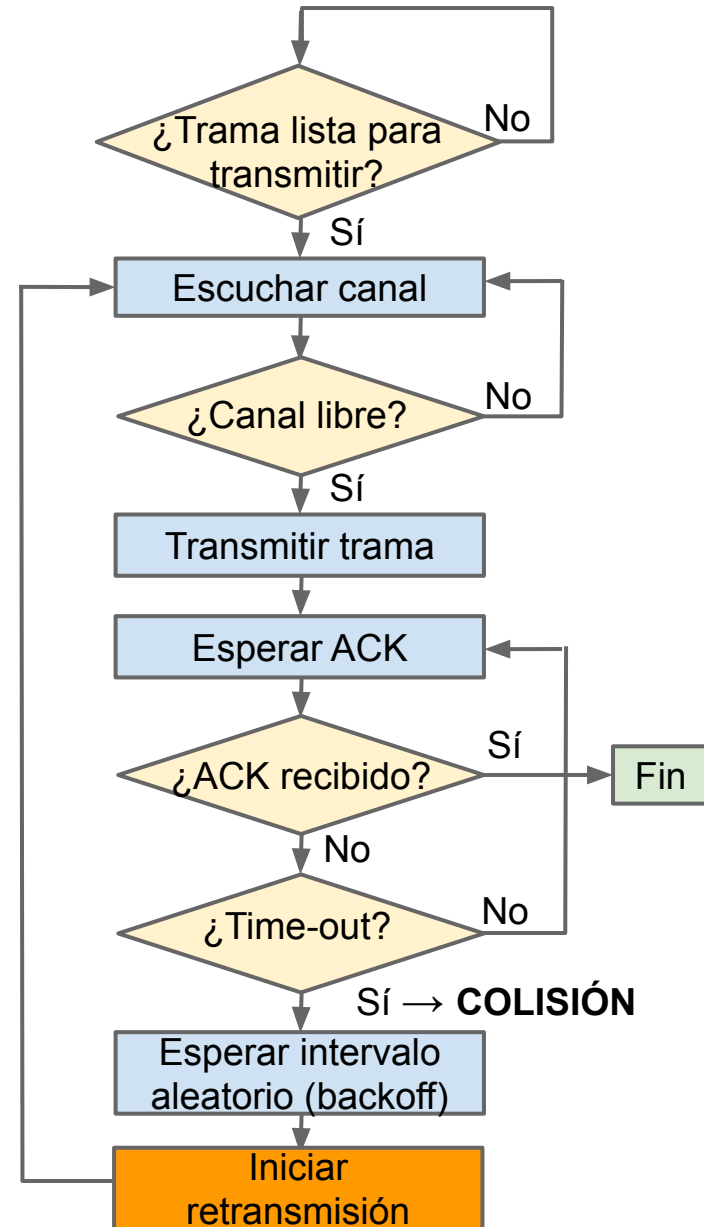
- **Protocolo CSMA**

- **Funcionamiento**

- Cuando un computador tiene una trama de datos lista para transmitir, escucha el canal y si éste está libre la transmite
    - Para saber que la trama se ha recibido correctamente (sin colisiones) el receptor debe devolver una confirmación (ACK)

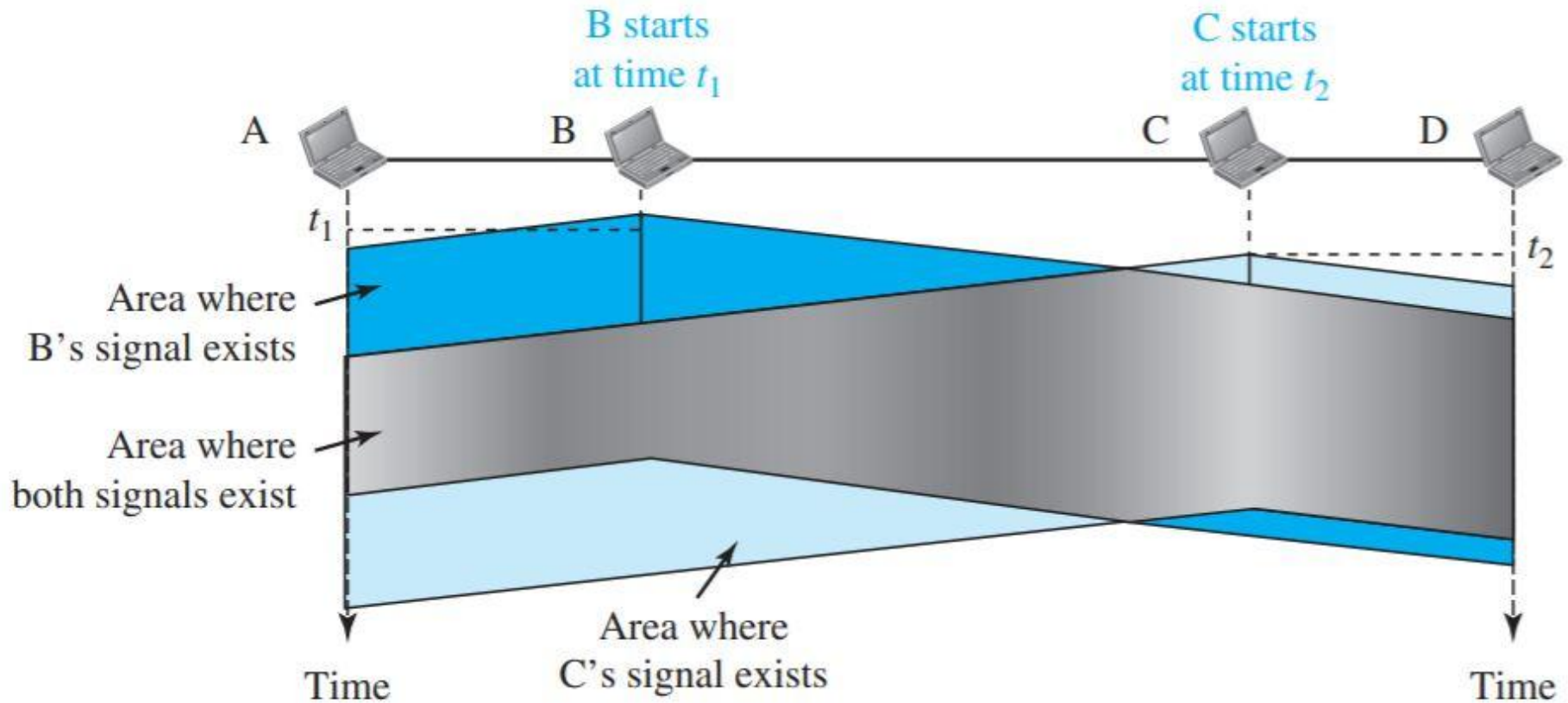
- En caso de colisión (dos o más computadores transmiten una trama de forma simultánea)

- 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



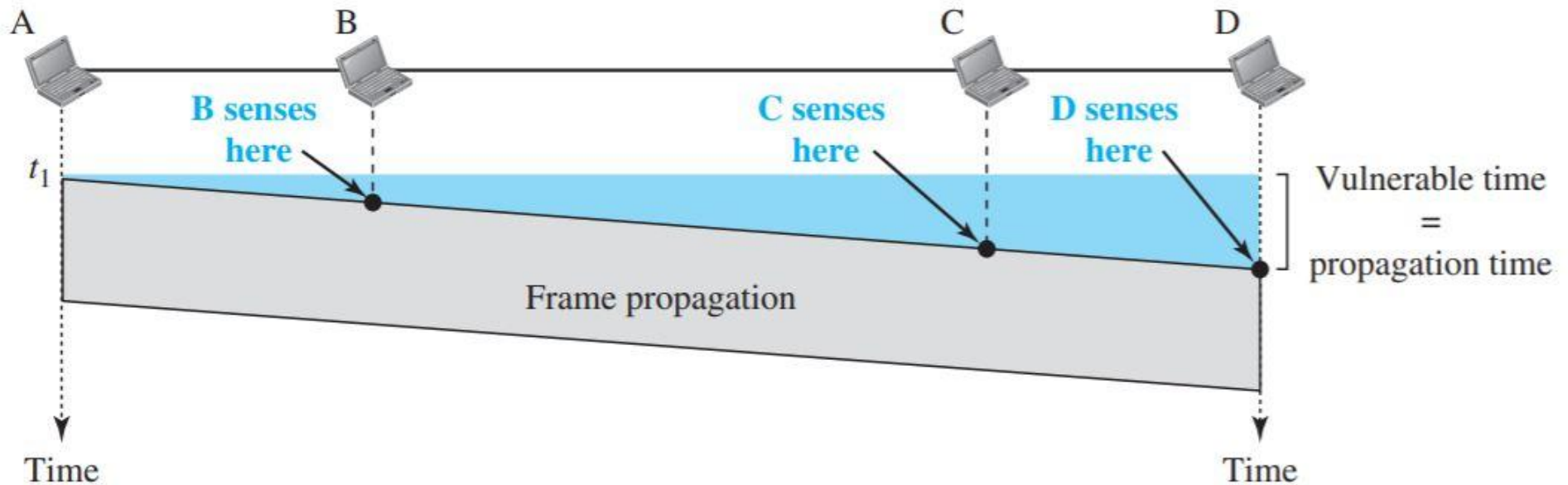
# Redes LAN Ethernet

- Protocolo CSMA (cont.)



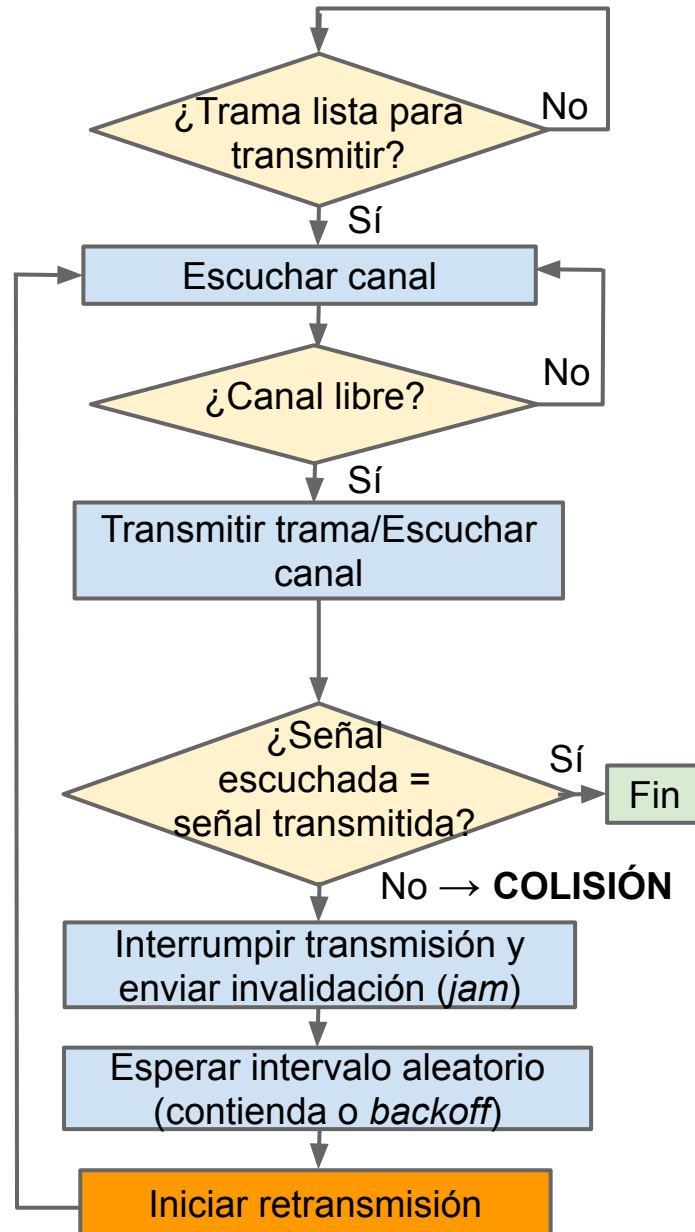
# Redes LAN Ethernet

- Protocolo CSMA (cont.)



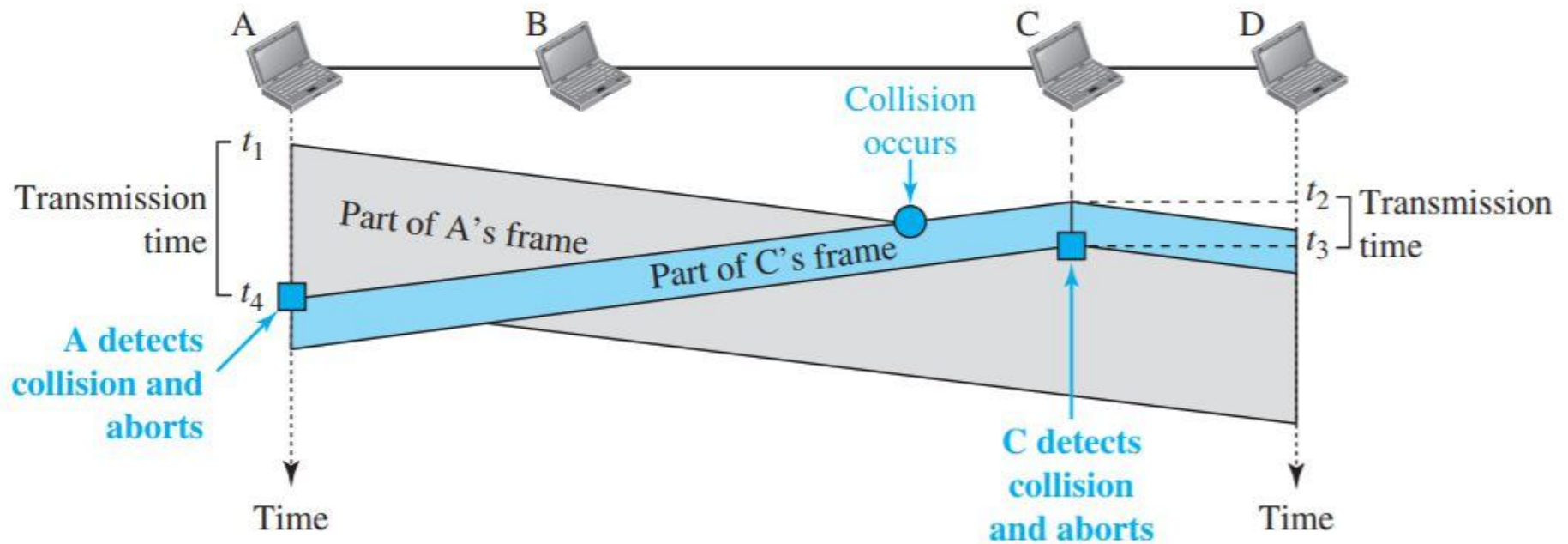
# Redes LAN Ethernet

- Protocolo CSMA/CD



# Redes LAN Ethernet

- Protocolo CSMA/CD





# Redes LAN Ethernet

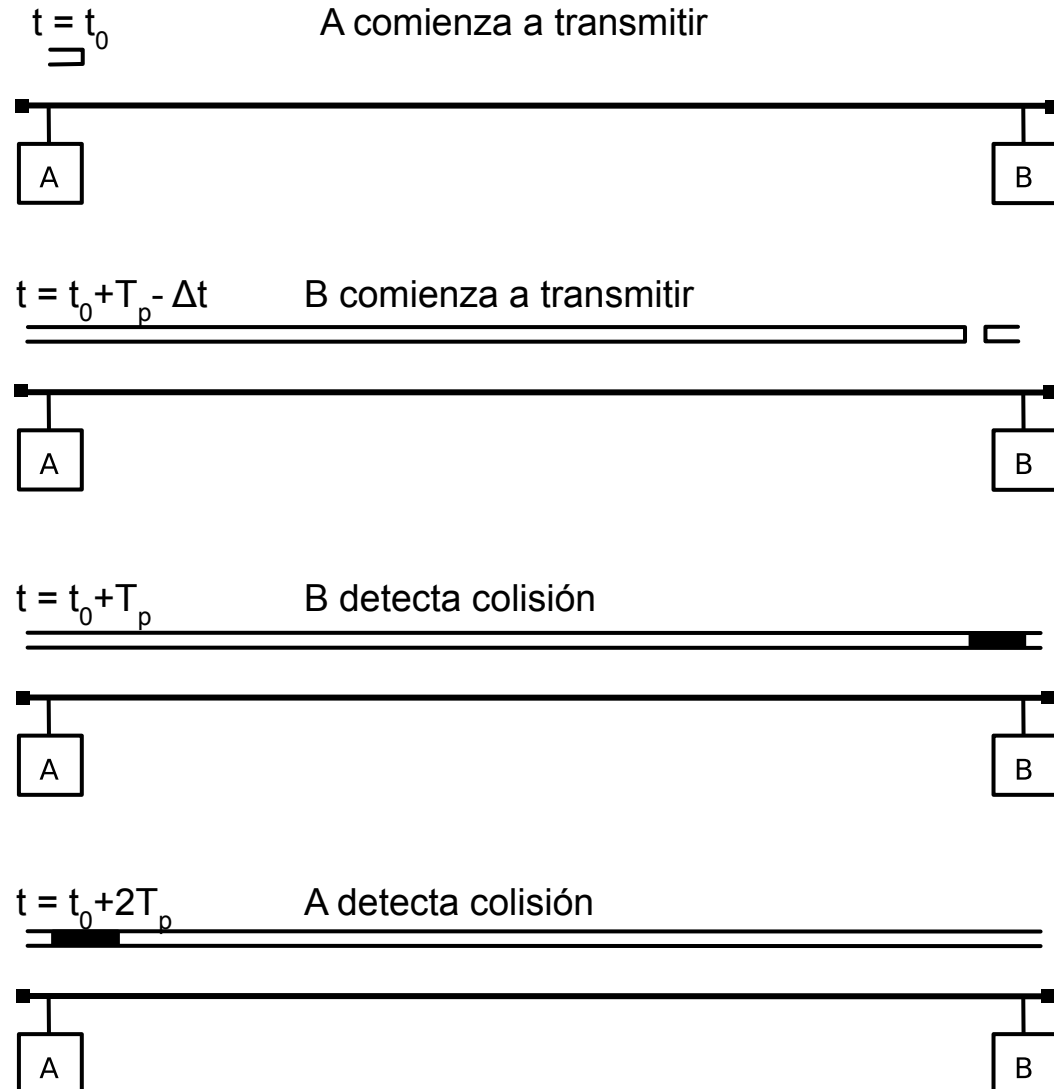
- **Protocolo CSMA/CD (cont.)**

- Tiempo máximo de detección de colisión

$$\tau = 2 * T_p$$

- Siendo

- $T_p \rightarrow$  Retardo máximo de propagación de la señal
- $\tau \rightarrow$  Ranura temporal



# Redes LAN Ethernet

- **Protocolo 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:

- $T_x \geq \tau$

- Por tanto:

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

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

- 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:  $V = 10 \text{ Mbps}$

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

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

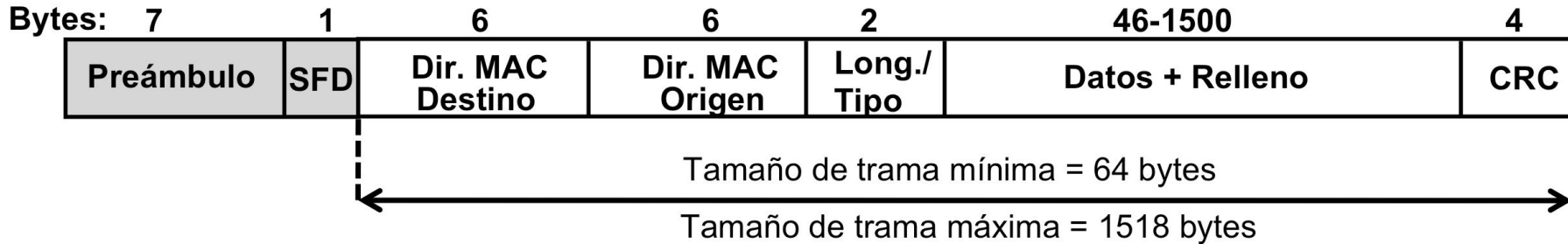
**Tamaño de trama mínima Ethernet = 512 bits = 64 bytes**

# Redes LAN Ethernet

- **Protocolo 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  $\rightarrow m \in [0, 1]$
      - 2ª colisión  $\rightarrow m \in [0, 1, 2, 3]$
      - ...
      - $n$ -ésima colisión  $\rightarrow m \in [0, 1, \dots, 2^n - 1]$
      - ...
      - 10ª colisión  $\rightarrow m \in [0, 1, \dots, 1023]$
      - 11ª colisión  $\rightarrow m \in [0, 1, \dots, 1023]$
      - ...
      - 15ª colisión  $\rightarrow m \in [0, 1, \dots, 1023]$
      - 16ª colisión  $\rightarrow$  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  $\leq 1500$ )
        - 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 (0x0800);
          - ARP  $\rightarrow$  tipo = 2054 (0x0806)
    - Datos (0-1500 bytes)
      - Como máximo pueden ocupar 1500 bytes
    - 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 de errores de transmisión
      - Polinomio generador CRC32:  $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

# Redes LAN Ethernet

- **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)

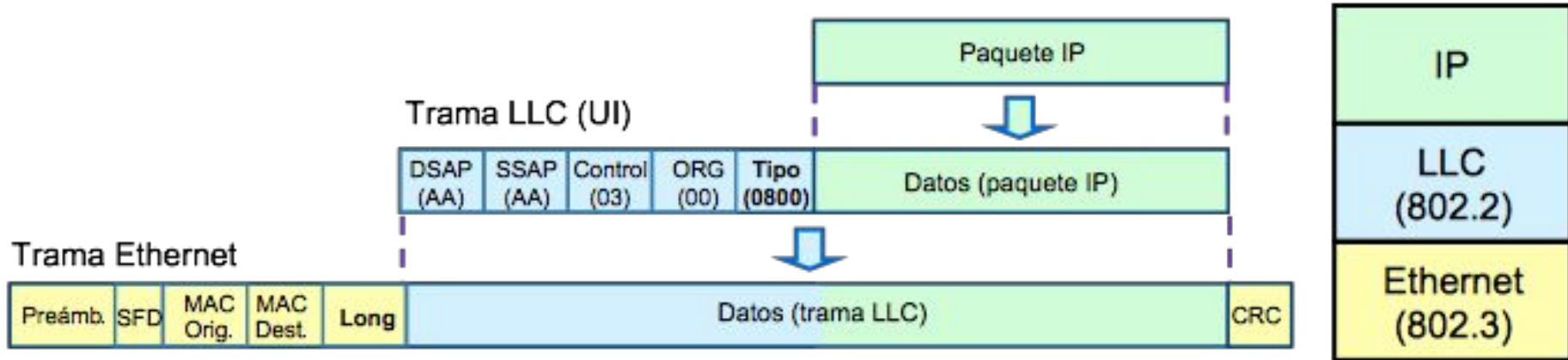


- Los campos DSAP, SSAP, Control y ORG tienen valores fijos
      - El único dato relevante en la cabecera de la trama LLC es el campo **Tipo**
        - Identifica al protocolo de la capa superior al que pertenecen los datos
        - En el caso de IP → tipo = 0x0800
    - En la arquitectura de TCP/IP 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)

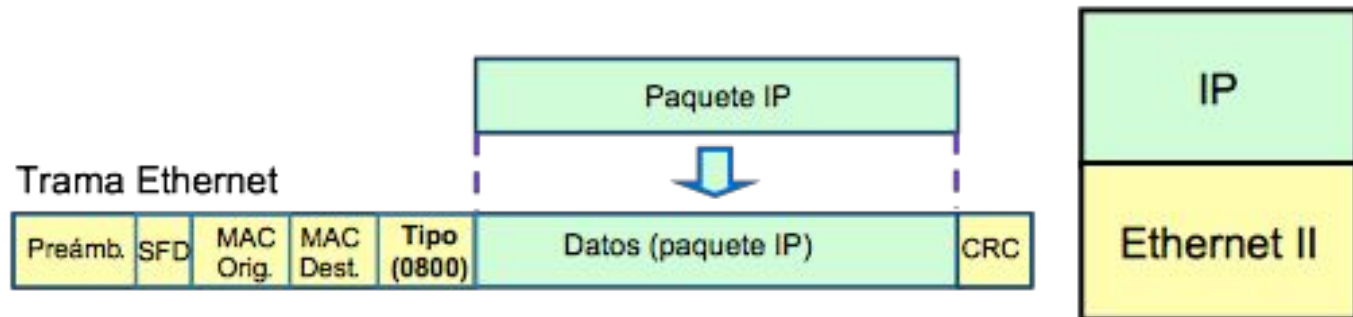
# Redes LAN Ethernet

- **Ethernet II vs. IEEE 802.3 (cont.)**

- 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

# Redes LAN Ethernet

- **Direcciones MAC Ethernet**

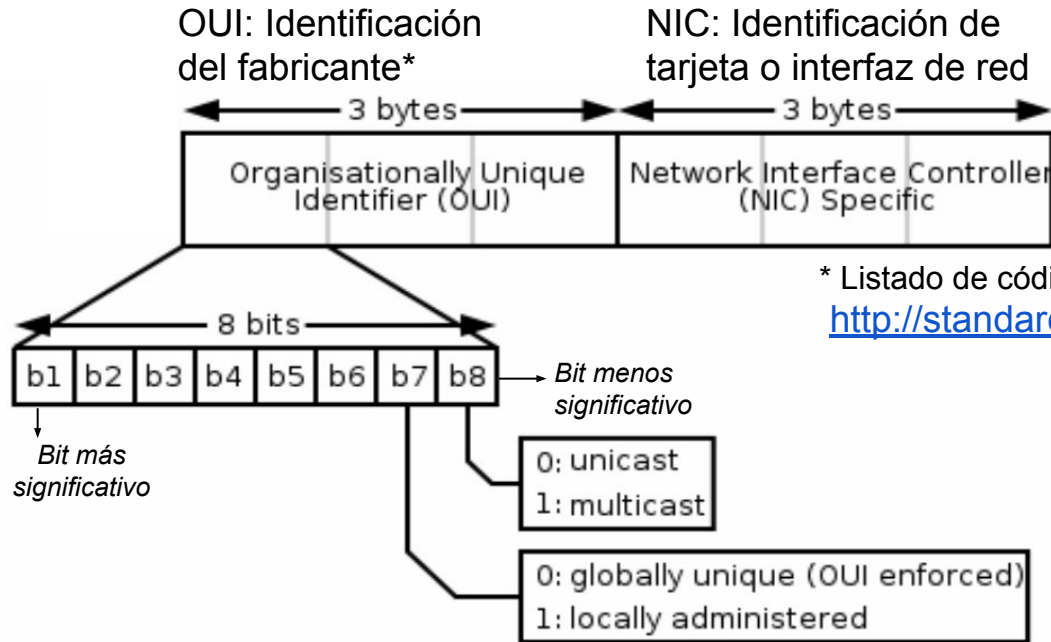
- Identifican al emisor y destinatario(s) de una trama en el ámbito de la red local
  - Dir. MAC = Dir. Ethernet = Dir. Física = Dir. Hardware
- Dirección MAC destino
  - Dirección MAC del destinatario o destinatarios de la trama
  - Puede ser de tres tipos:
    - Dirección MAC individual (unicast)
      - 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
      - Por defecto, es la siguiente dirección: FF:FF:FF:FF:FF:FF
- Dirección MAC origen
  - 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-oui.ieee.org/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/local (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

- Implementaciones físicas

Ethernet (10 Mbps)	10BASE5	10BASE2	<u>10BASE-T</u>
Medio transm.	Coaxial grueso	Coaxial delgado	2 pares UTP Cat-3
Topología	Bus	Bus	Hub
Modo	Half-duplex	Half-duplex	Half-duplex
Longitud máx.	500 m	185 m	100 m
Codif. línea	Manchester	Manchester	Manchester

Fast Ethernet (100 Mbps)	100BASE-FX	<u>100BASE-TX</u>	100BASE-T4	100BASE-T2
Medio transm.	2 fibras ópticas multimodo	2 UTP Cat-5	4 UTP Cat-3	2 UTP Cat-3
Topología	Switch	Hub o Switch	Hub o Switch	Hub o Switch
Modo	Full-duplex	Full-duplex (switch)	Half-duplex	Full-duplex (switch)
Longitud máx.	Hasta 2000 m	100 m	100 m	100 m
Codif. bloque	4B/5B	4B/5B		LFSR (scrambling)
Codif. línea	NRZ-I	MLT-3	8B/6T	PAM-5

# Redes LAN Ethernet

- Implementaciones físicas (cont.)

Gigabit Ethernet (1Gbps)	1000BASE-SX	1000BASE-LX	1000BASE-CX	<u>1000BASE-T</u>
Medio transm.	2 fibras ópticas corto alcance	2 fibras ópticas largo alcance	2 STP	4 UTP Cat-5 o superior
Topología	Switch	Switch	Switch	Switch
Modo transm.	Full-duplex	Full-duplex	Full-duplex	Full-duplex
Longitud máx.	220-550 m	550-5000 m	25 m	100 m
Codif. bloque	8B/10B	8B/10B	8B/10B	LFSR (scrambling)
Codif. línea	NRZ	NRZ	NRZ	PAM-5

10 Gigabit Eth. (10Gbps)	10GBASE-SR	10GBASE-LR	10GBASE-ER	10GBASE-T
Medio transm.	2 fibras multimodo corto alcance	2 fibras monomodo largo alcance	2 fibras monomodo alcance extendido	4 UTP Cat-6 o 7
Topología	Switch	Switch	Switch	Switch
Modo transm.	Full-duplex	Full-duplex	Full-duplex	Full-duplex
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

- **Funcionamiento de los switches: Tipos de switches**

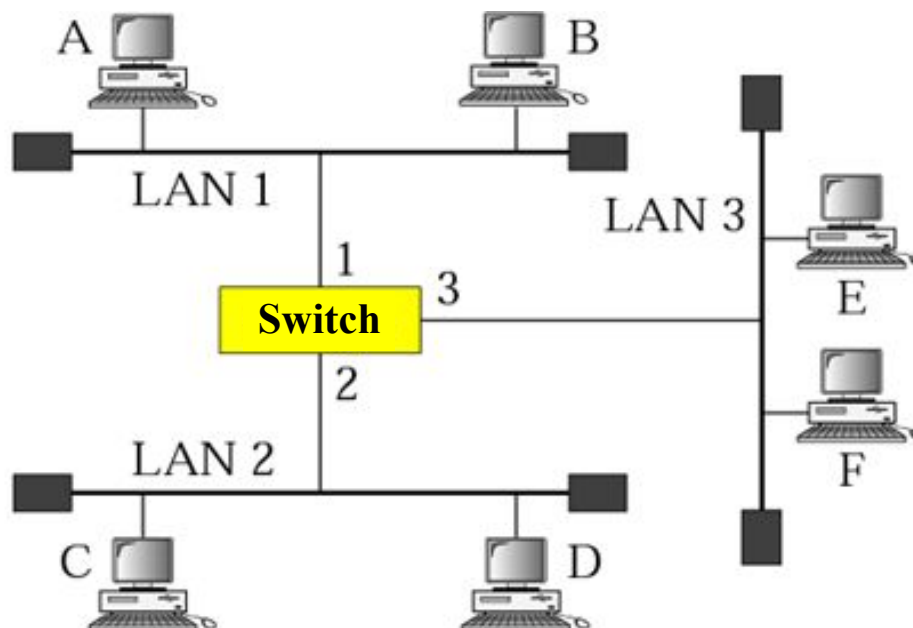
- Switch de almacenamiento y reenvío (*store-and-forward*)
  - El switch acepta la trama, la almacena temporalmente y la reenvía hacia la salida adecuada
  - Ventajas
    - Puede realizar la comprobación de errores y descartar tramas erróneas
    - Puede interconectar dispositivos de diferente velocidad (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: Auto-aprendizaje**
  - 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 s)
  - 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 todos los puertos (broadcast), excepto el de procedencia

# Redes LAN Ethernet

- Funcionamiento de los switches: Auto-aprendizaje (cont.)



Address	Port

a. Original

Address	Port
A	1

b. After A sends a frame to D

Address	Port
A	1
E	3

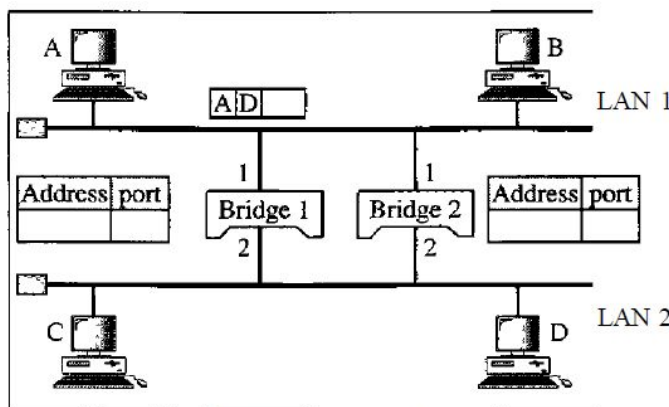
c. After E sends a frame to A

Address	Port
A	1
E	3
B	1

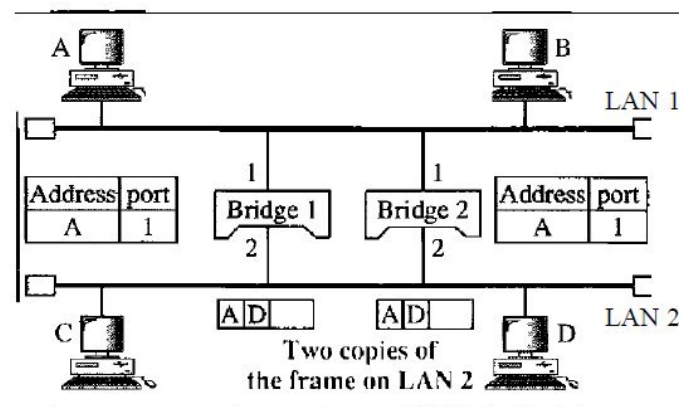
d. After B sends a frame to C

# Redes LAN Ethernet

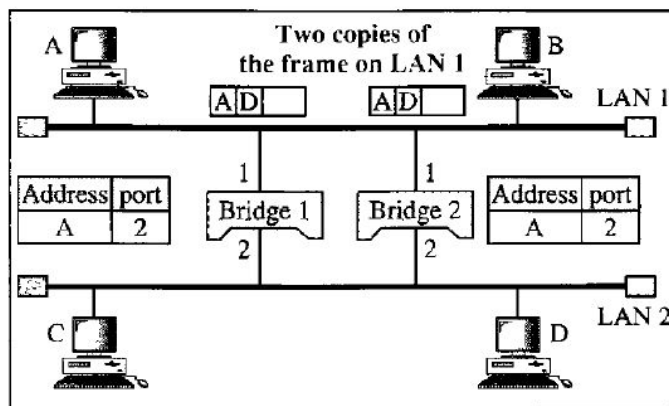
- **Funcionamiento de los switches: Auto-aprendizaje (cont.)**
  - El problema de los bucles
    - Los administradores de una red suelen usar switches/bridges redundantes para hacer la red más tolerante a fallos



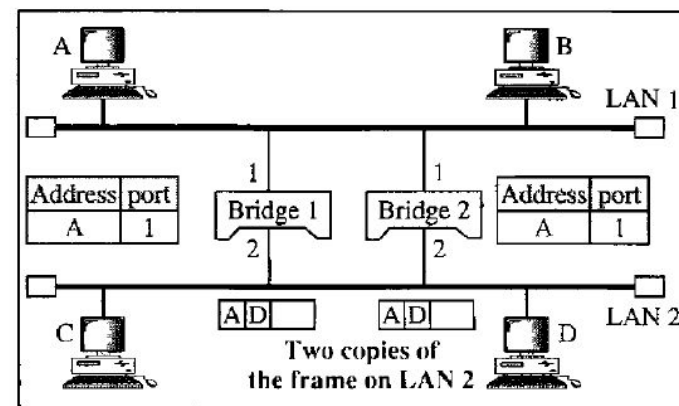
a. Station A sends a frame to station D



b. Both bridges forward the frame



c. Both bridges forward the frame



d. Both bridges forward the frame



# Redes LAN Ethernet

- **Funcionamiento de los switches: Auto-aprendizaje (cont.)**
  - El problema de los bucles (cont.)
    - A envía un mensaje a D, como la tabla de ambos puentes está vacía, ambos envían la trama y se añade A a la tabla
    - La LAN 2 recibe dos copias de la trama dirigida a D
    - Los dos puentes siguen sin saber qué puerto conecta con D, así que vuelven a enviar la trama y a actualizar la tabla, y así sucesivamente
  - Solución propuesta por IEEE 802.1: usar el protocolo de árbol de expansión (STP, Spanning Tree Protocol) para crear una topología sin bucles
    - Cada LAN podrá ser alcanzada desde cualquier otra LAN solo por un camino
    - El sistema tendrá una topología física que no cambia pero recubierta por una topología lógica que hace efectivas las conexiones

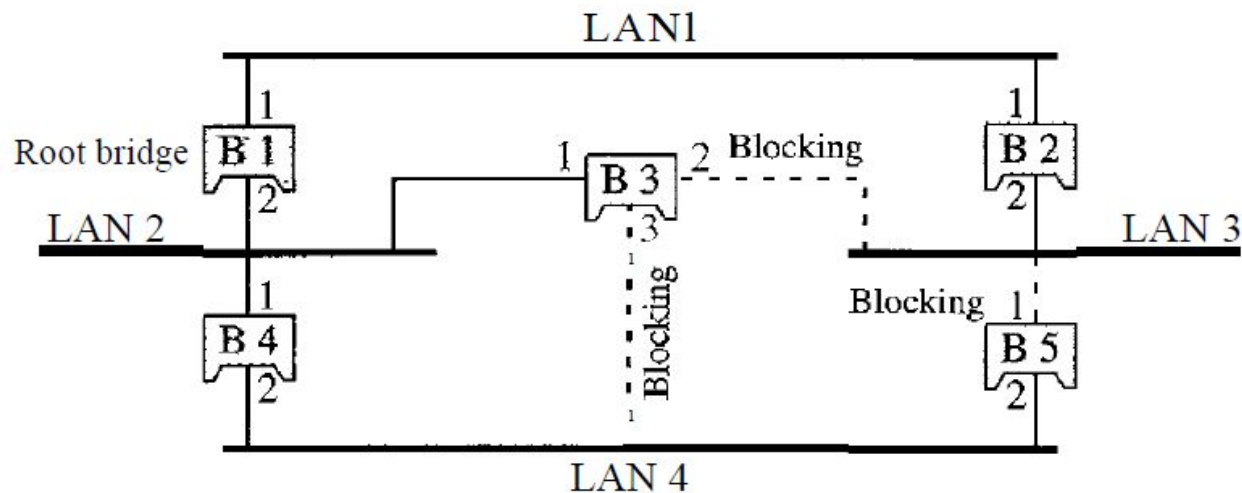
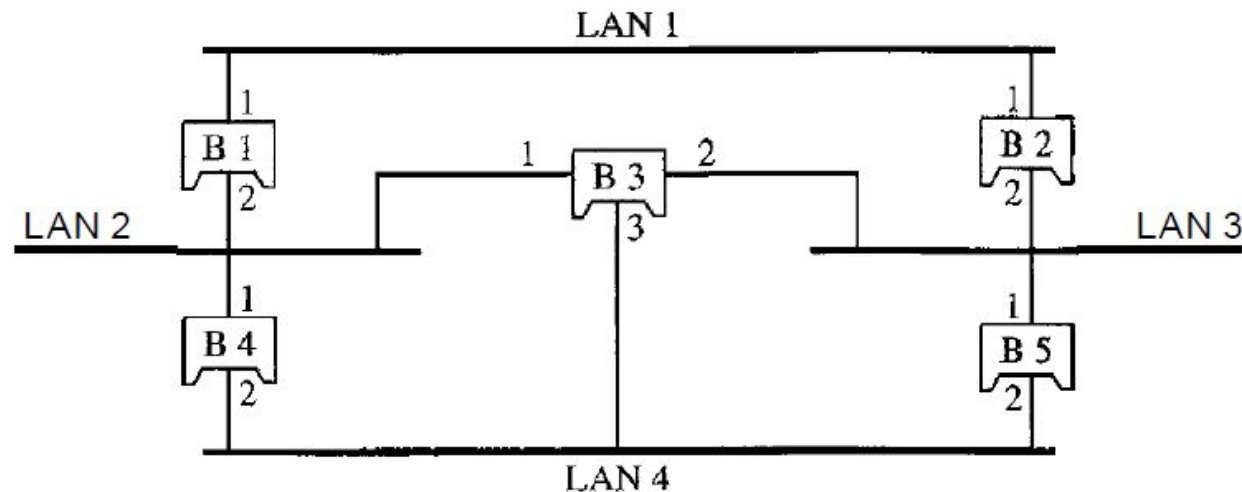
# Redes LAN Ethernet

---

- **Funcionamiento de los switches: Protocolo del árbol de expansión**
  - El árbol de expansión es un grafo en el que no hay bucles
  - Las LAN son nodos y los switches, arcos
  - Cada switch tiene asignado un identificador
  - El administrador asigna un coste a los puertos de los switches
  - El algoritmo busca el camino que minimice el número de saltos o el retardo o que maximice el ancho de banda
  - Los switches intercambian mensajes para determinar qué puertos son:
    - **Puertos de reenvío** (forman parte del árbol de expansión): reenvían las tramas que reciben
    - **Puertos de bloqueo** (no pertenecen al árbol): bloquean las tramas recibidas por el switch
  - Si hay un cambio en la topología, los switches recalculan el árbol

# Redes LAN Ethernet

- **Funcionamiento de los switches: Protocolo del árbol de expansión**
  - Ejemplo



# Redes LAN Ethernet

---

- **Interconexión de redes Ethernet**

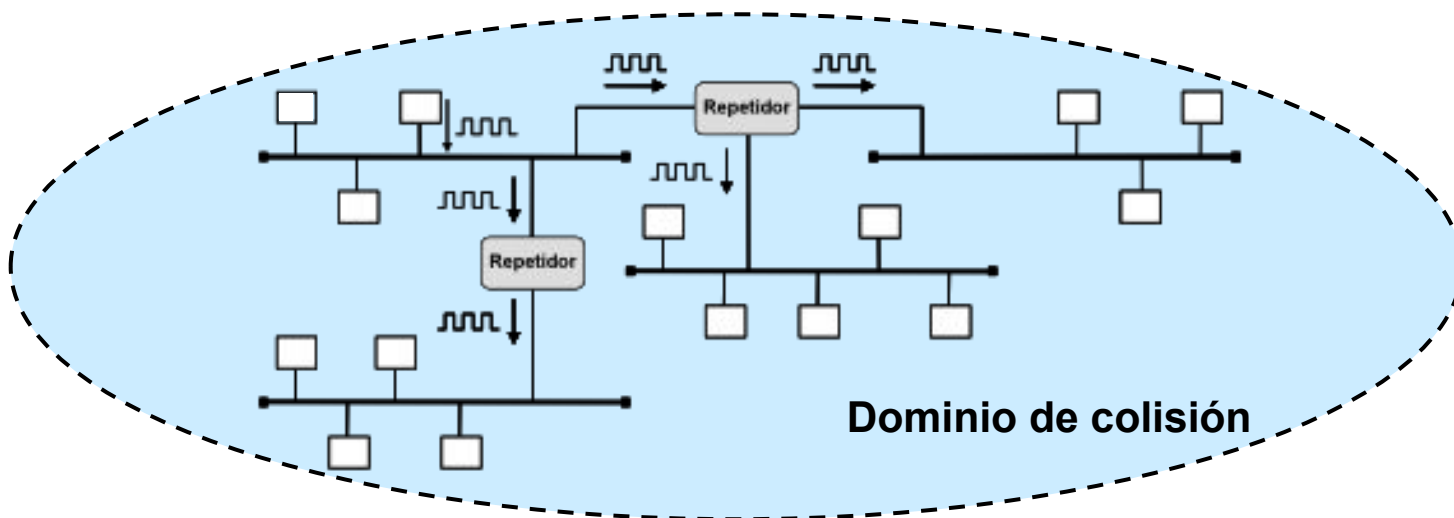
- **Dominio de colisión**

- Un *dominio de colisión* es un conjunto de máquinas de una red 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
      - Todas las máquinas conectadas a un segmento 10BASE2 forman un dominio de colisión
      - Todas las máquinas conectadas a un hub 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.)**

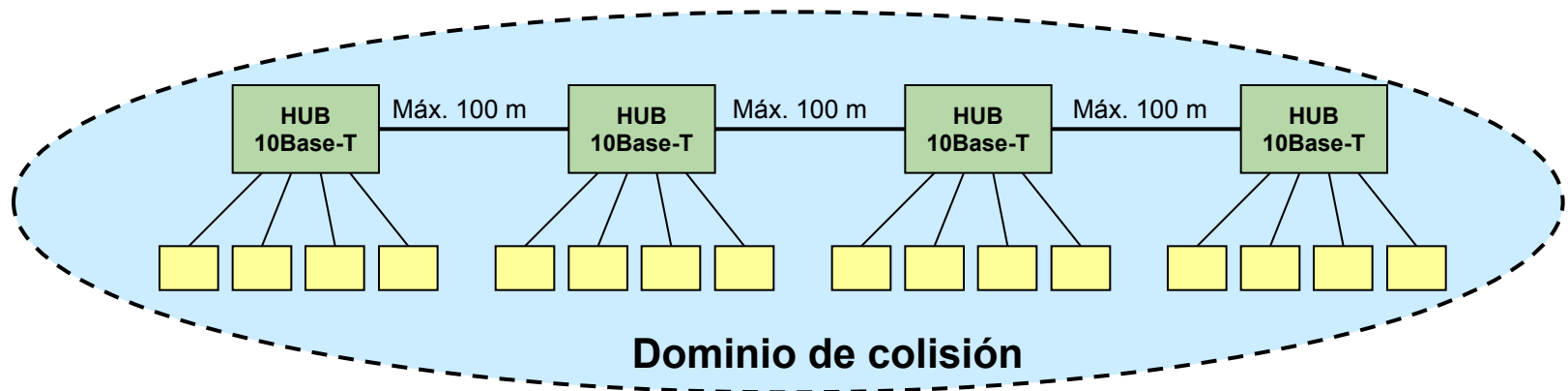
- Interconexión de varios segmentos 10BASE2 o 10BASE5
  - Se pueden unir varios segmentos mediante repetidores
    - Esto permite ampliar el alcance de la red (limitada a 185 ó 500 m)
    - Un repetidor es un dispositivo de nivel físico: Cualquier señal que recibe por una de sus entradas, la regenera 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
    - 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.)**

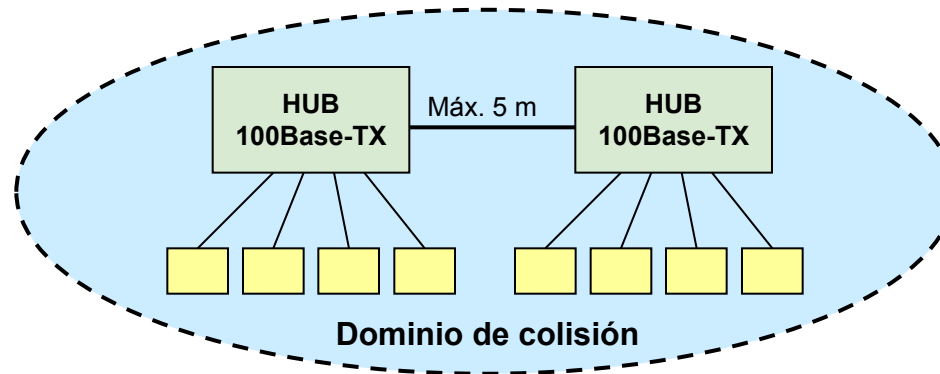
- Interconexión de varios hubs 10BASE-T
  - Se pueden conectar varios hubs para ampliar el tamaño de la red
    - La conexión entre dos hubs se realiza mediante un cable cruzado
    - La longitud máxima del cable es de 100 m
  - Limitaciones en la conexión de varios hubs en una red 10BASE-T
    - El 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.)**

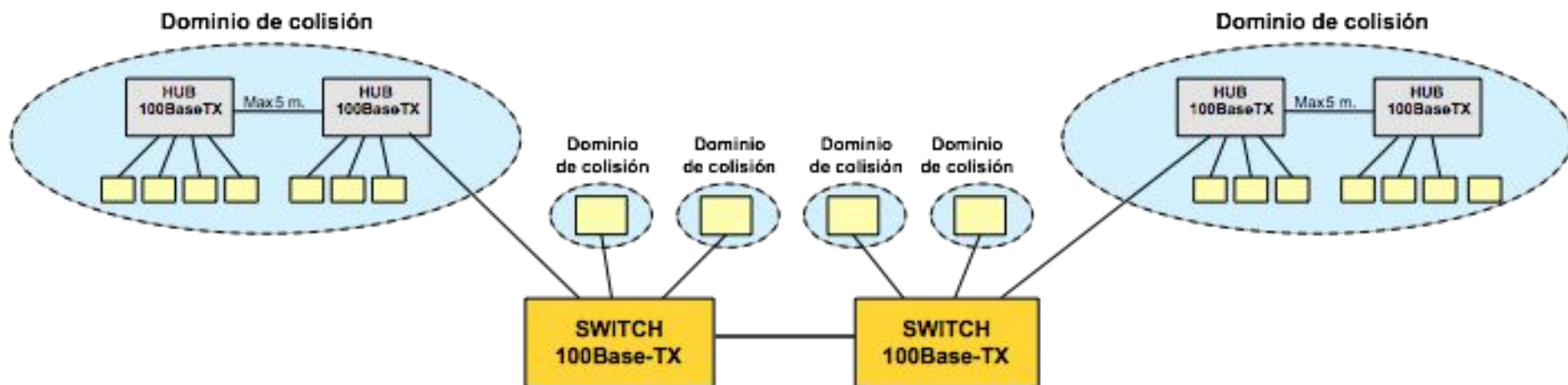
- Interconexión de varios hubs 100BASE-TX
  - Se pueden conectar un máximo de 2 hubs 100Base-TX (Clase II) para ampliar el tamaño de la red
    - La longitud máxima del cable de unión es de 5 m
  - Dominio de colisión
    - Las estaciones de una red 100BASE-TX formada por varios hubs interconectados 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 máxima del cable entre 2 switches 100BASE-TX o 1000BASE-TX es de 100 m
  - 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

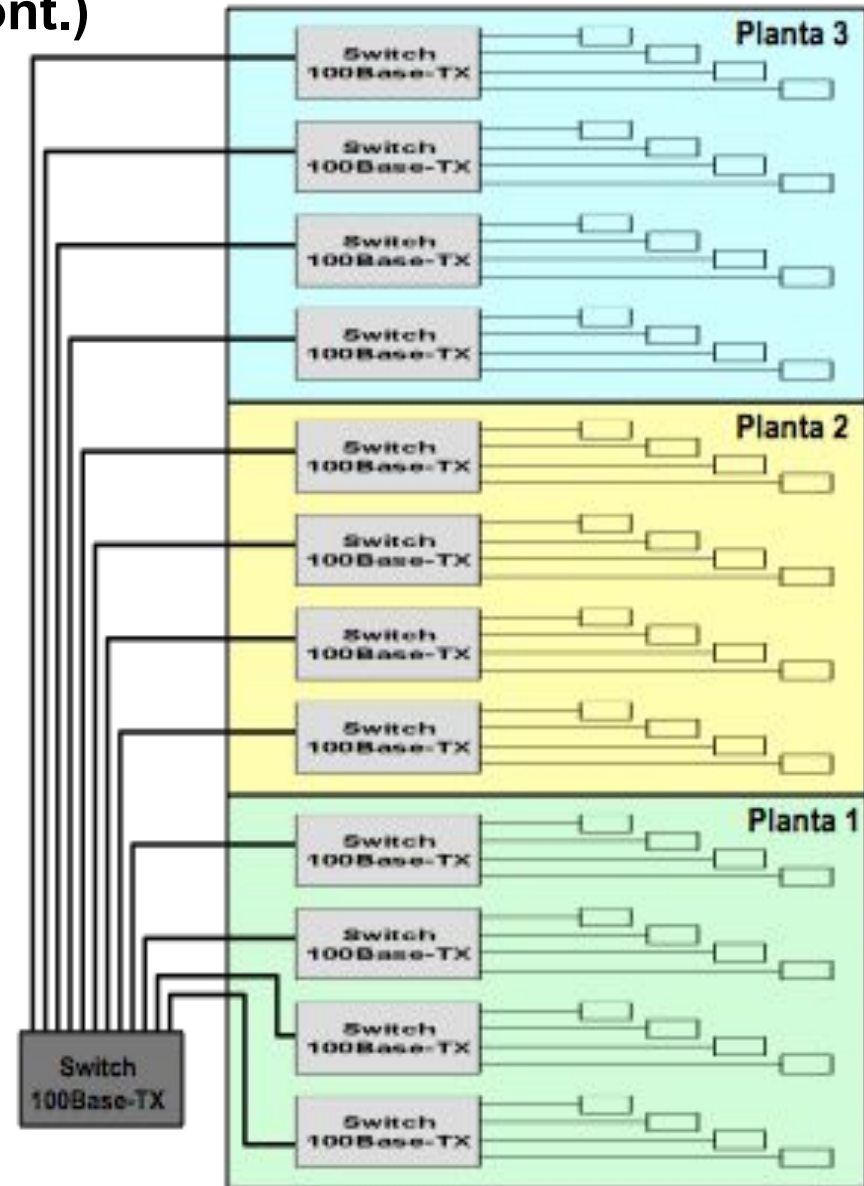




# Redes LAN Ethernet

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

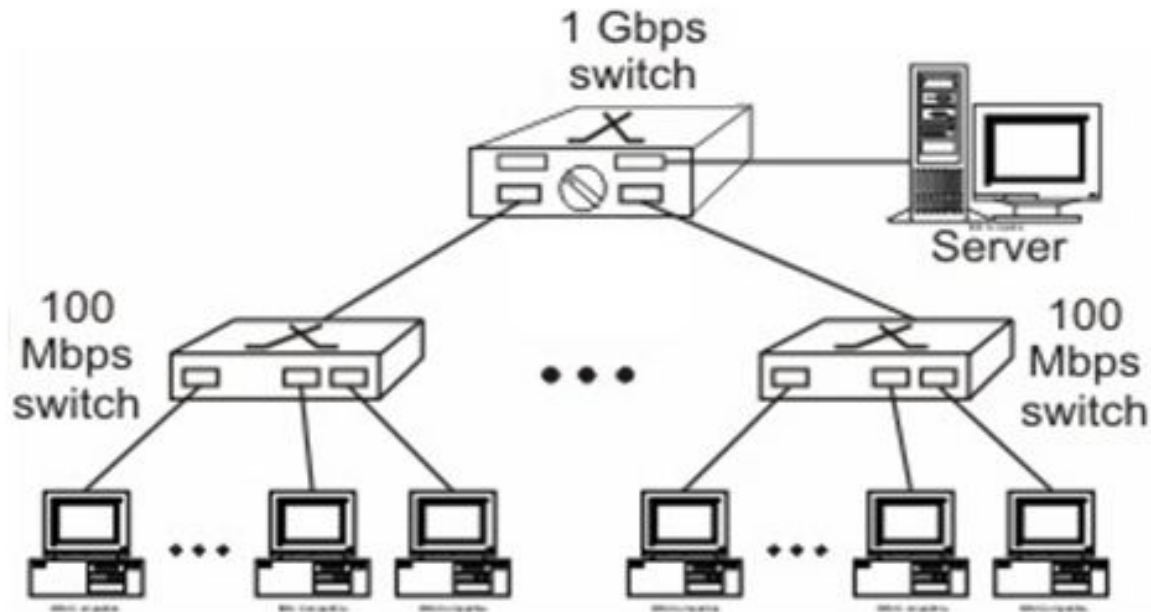
- Interconexión de redes Ethernet mediante switches (cont.)
  - Ejemplo 2: cableado típico de un edificio mediante switches 100Base-TX



# Redes LAN Ethernet

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

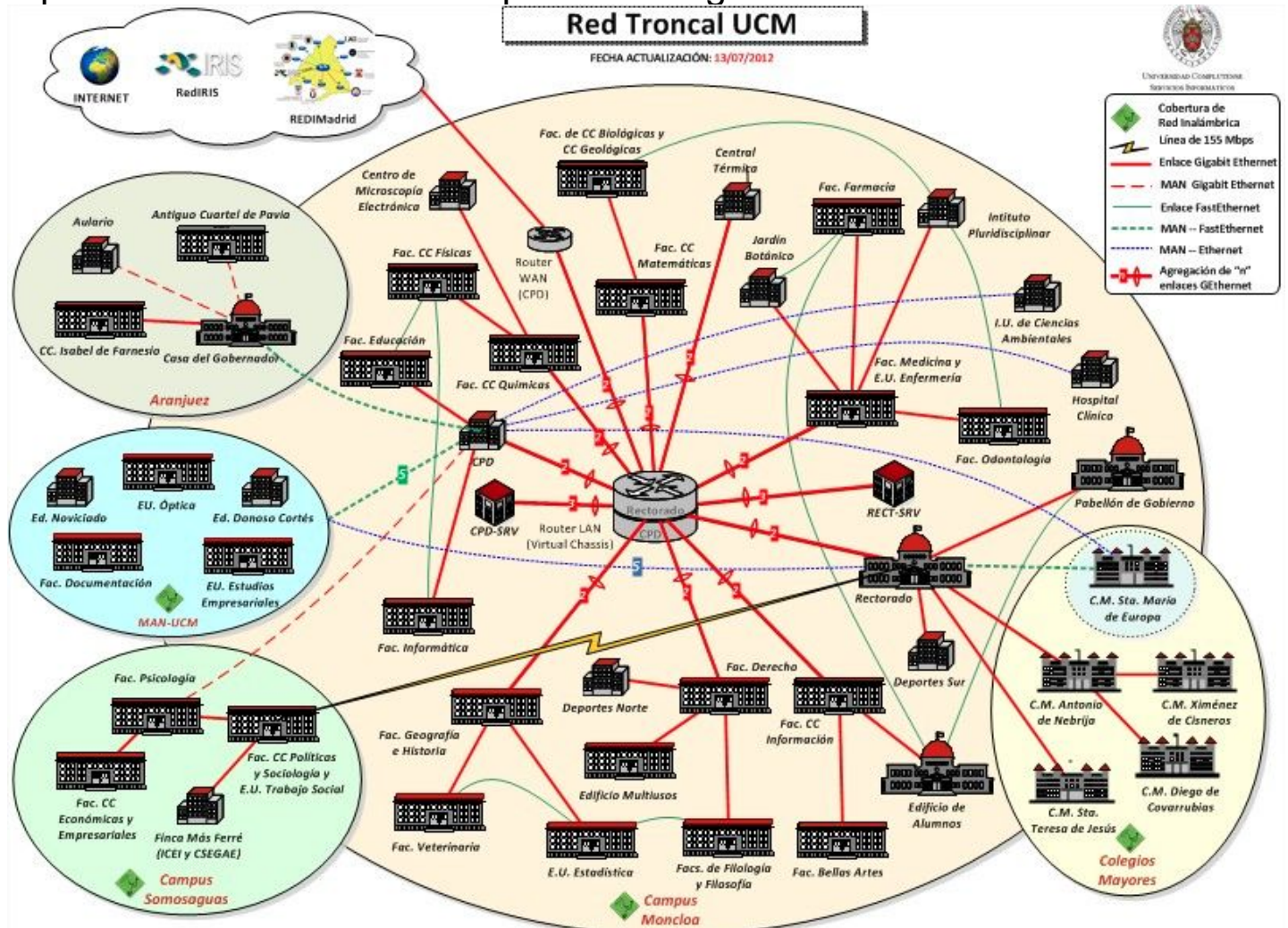
- Interconexión de redes Ethernet mediante switches (cont.)
  - Ejemplo 3: interconexión de switches de distinta velocidad para conectar un servidor con gran demanda de ancho de banda



# Redes LAN Ethernet

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

- Interconexión de redes Ethernet mediante switches (cont.)
  - Ejemplo 4: 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 600 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
Telefonía LTE (4G)	WWAN	Global	Hasta 72 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)

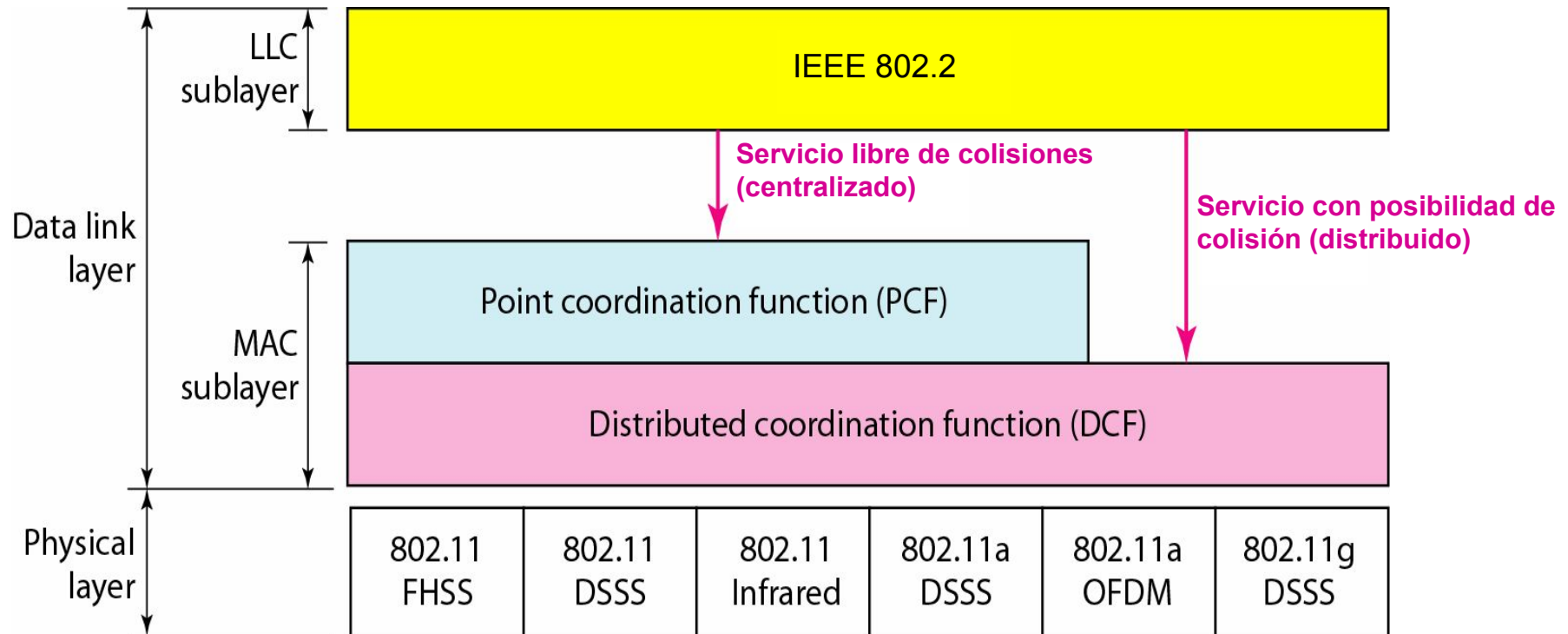
# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Redes WiFi (802.11)**

- WiFi (Wireless Fidelity) es una tecnología de red WLAN especificada por el estándar 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 de servicios básico (BSS, Basic Service Set)
    - Conjunto de servicios extendido (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)



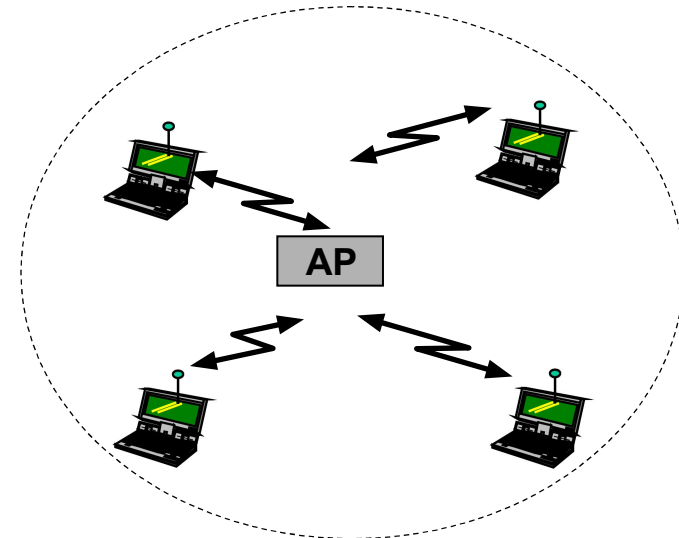


# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

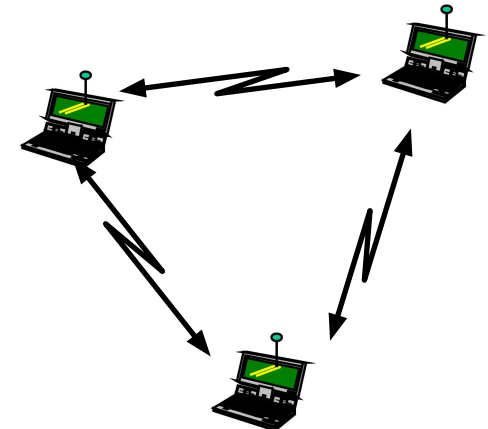
- **Tipos de redes WiFi**

- 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 (dirección MAC)
    - La conexión de una estación a un AP se denomina asociación
  - El AP funciona como un 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

*WiFi con infraestructura*



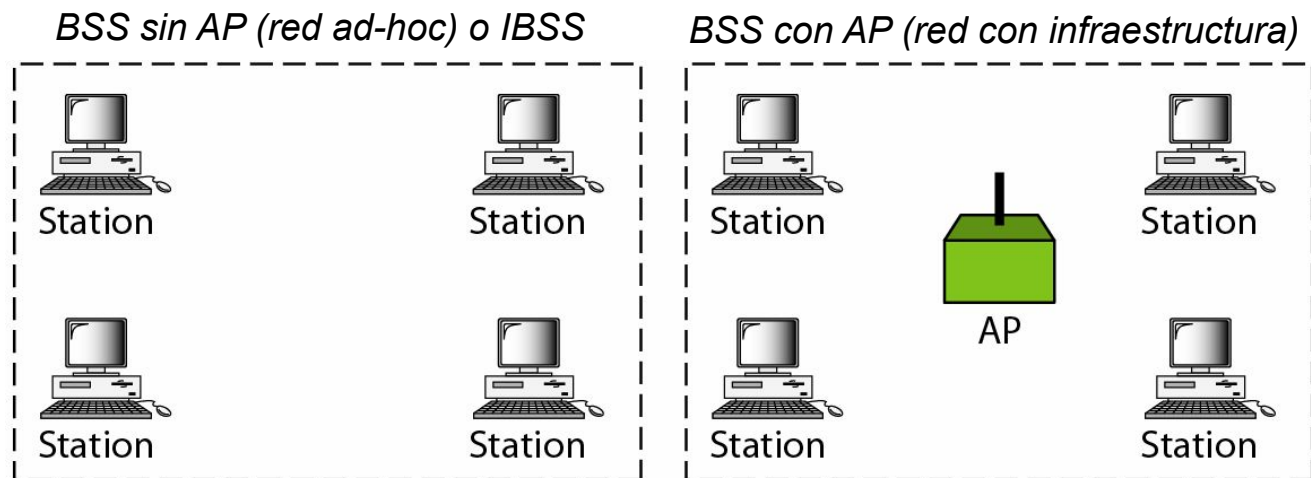
*WiFi sin infraestructura (ad-hoc)*



# 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

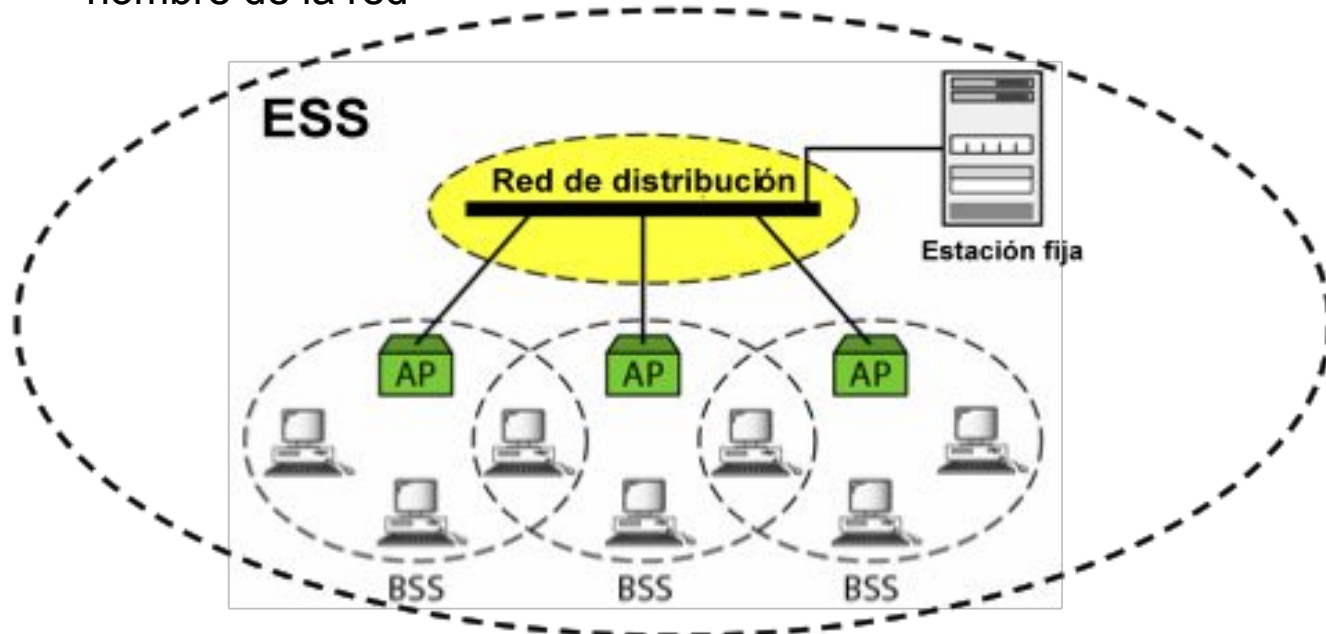




# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **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 un **sistema de distribución (DS, Distribution System)**
    - 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**

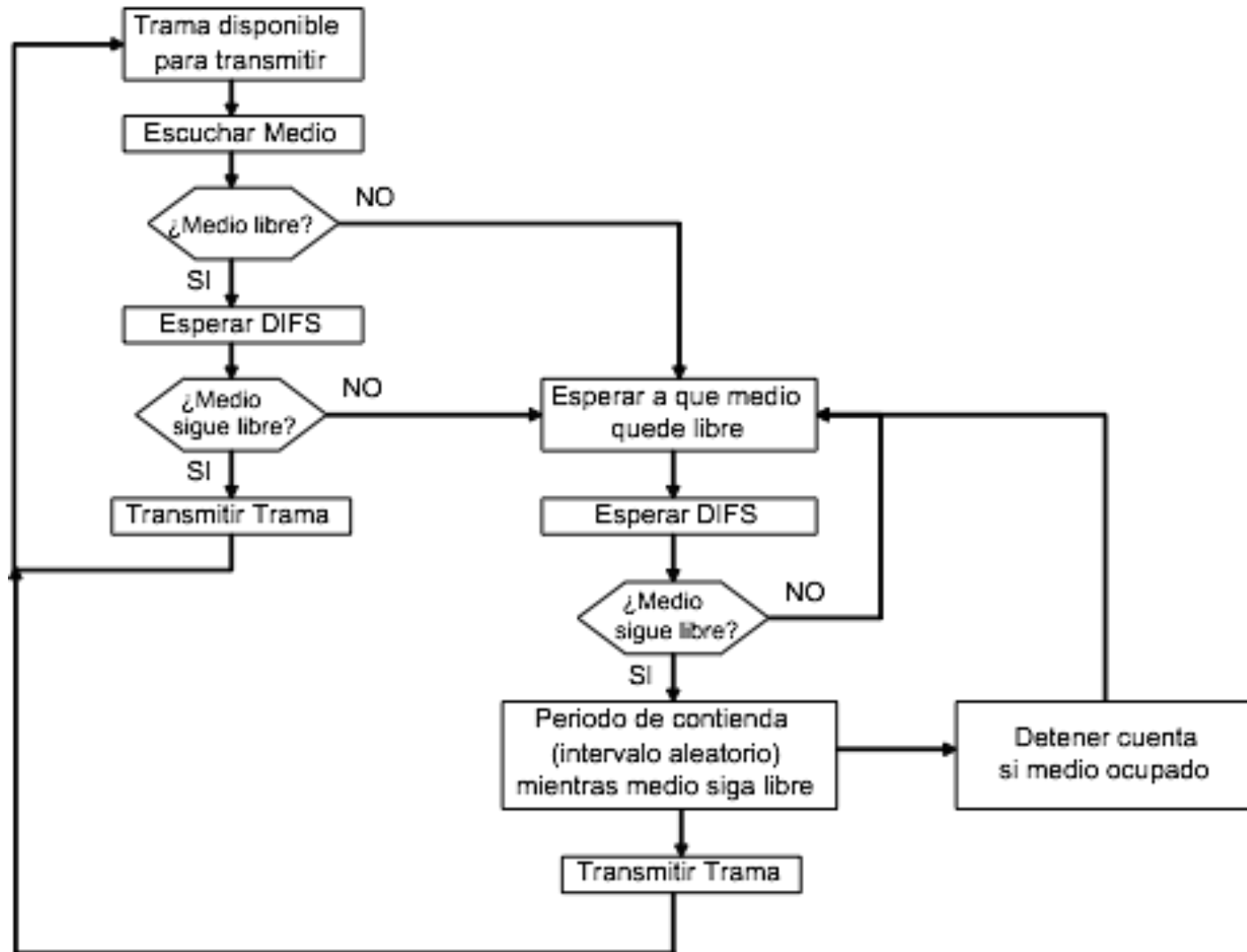
Función de coordinación	Parámetros temporales
DCF	SIFS DIFS
PCF	SIFS PIFS

# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**
  - Función de coordinación distribuida (protocolo CSMA/CA):
    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. 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. La estación vuelve a escuchar el medio
      - 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, 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.)



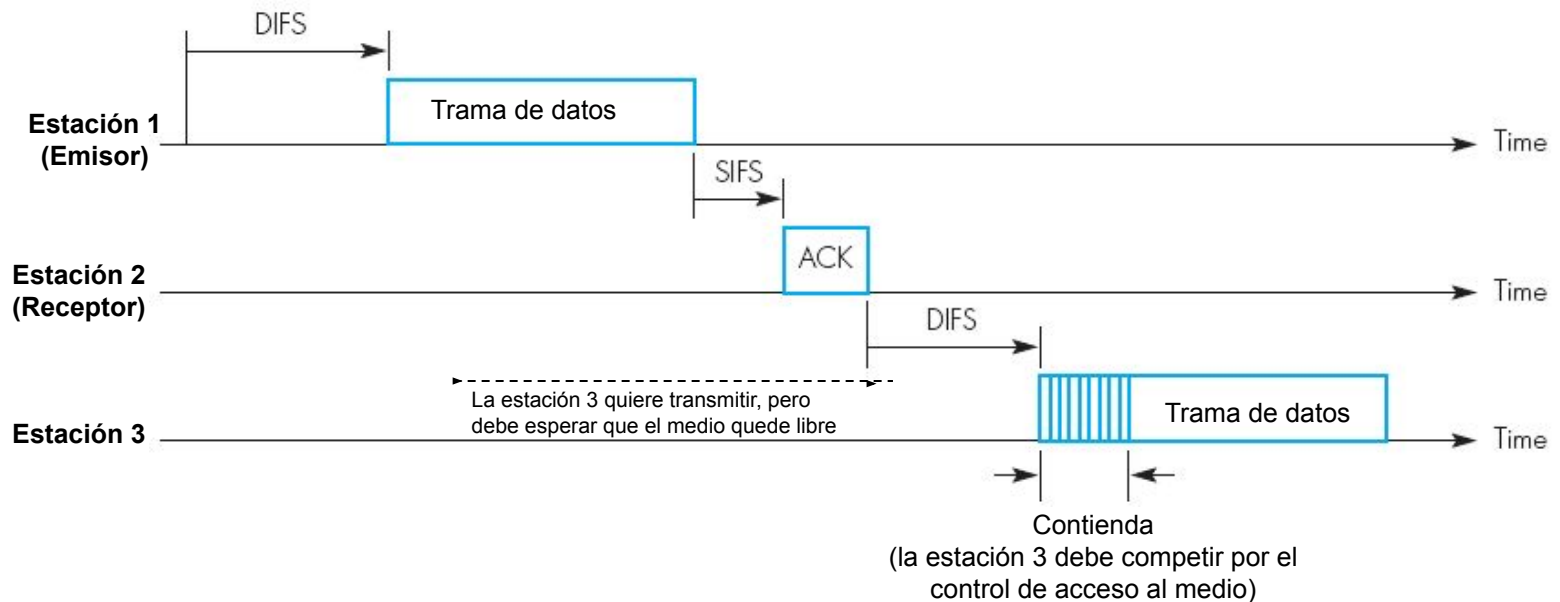
# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

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

- Función de coordinación distribuida (cont.)

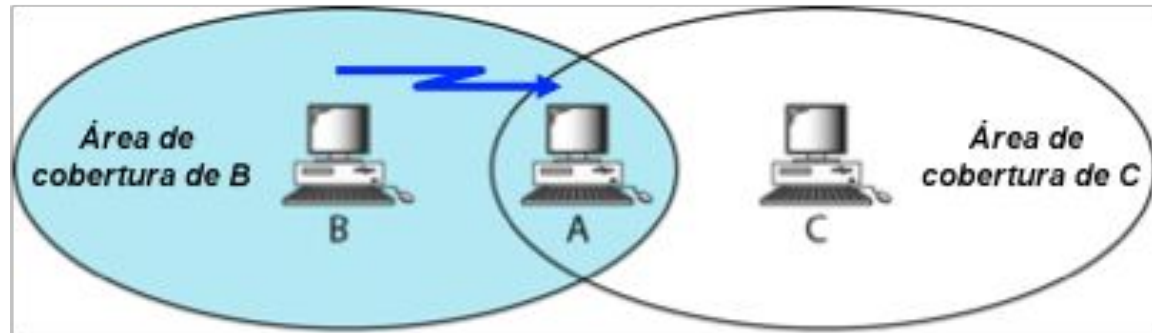
- Confirmación de la trama recibida

- 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:

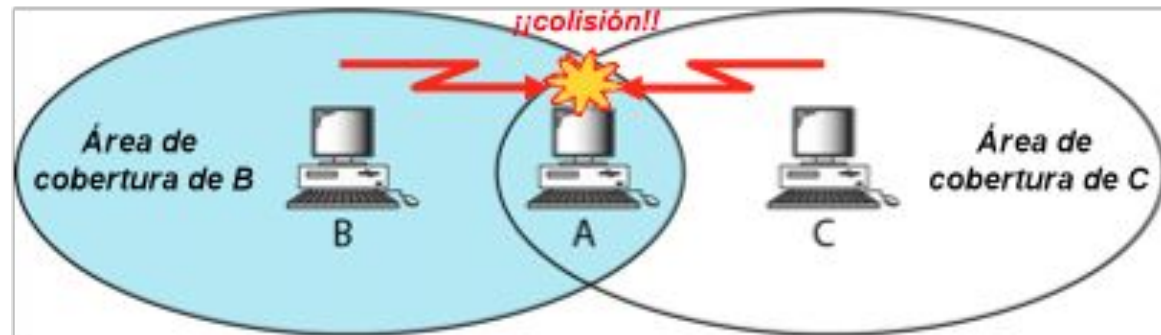


# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

- **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

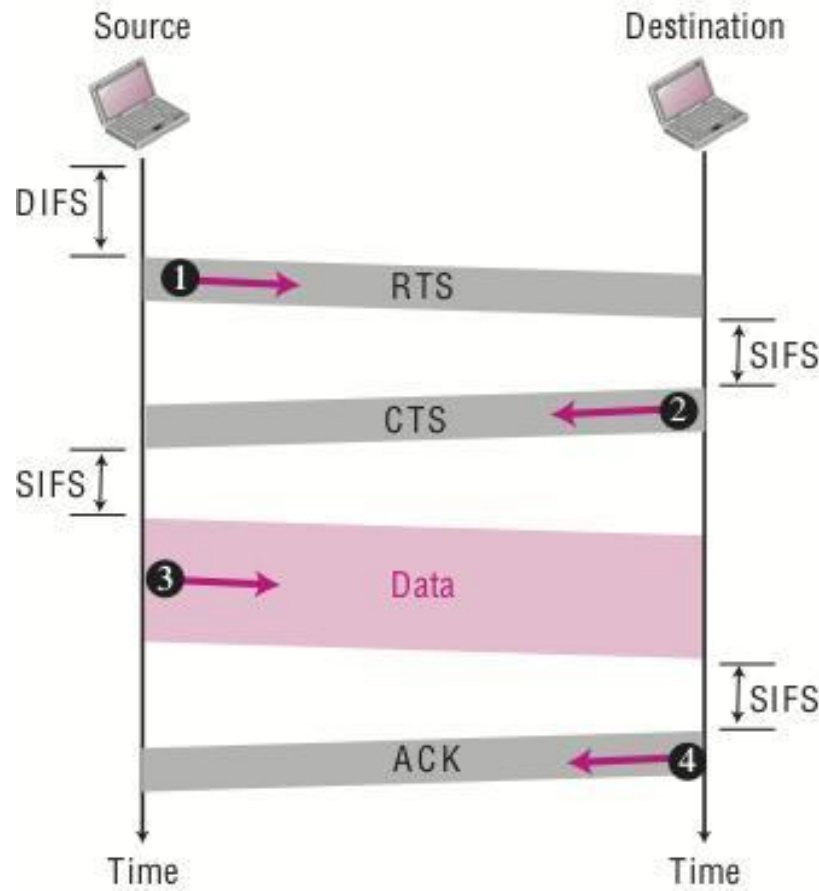


- La estación C quiere transmitir a A y detecta el canal libre (ya que no recibe la señal de B)
- La estación C transmite a la estación A y se produce una colisión



# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

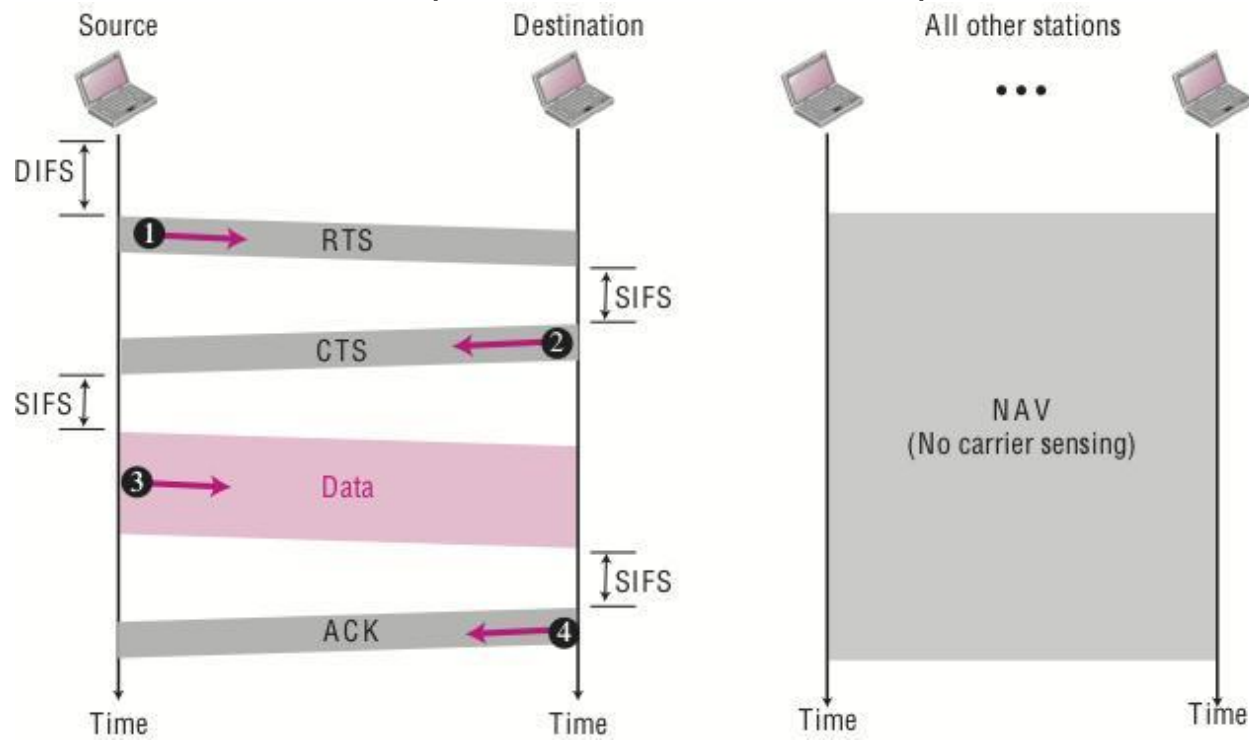
- **Control de acceso al medio en redes WiFi (cont.)**
  - Función de coordinación distribuida (cont.)
    - Extensión RTS/CTS
      - Tramas de control para eliminar el problema de la estación oculta
        - RTS: Request To Send (petición para enviar)
        - CTS: Clear To Send (permiso para enviar)





# 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 WiFi

Estándar	Año	Banda de frecuencias	Ancho de banda por canal	Técnica de transmisión	Velocidad de transmisión	Alcance Int./Ext.
802.11	1997	2,4 GHz 2,4 GHz	20 MHz	FHSS DSSS	1-2 Mbps 1-2 Mbps	20/100 m 20/100 m
802.11a*	1999	5 GHz	20 MHz	OFDM	6-54 Mbps	35/120 m
802.11b	1999	2,4 GHz	20 MHz	DSSS	1-11 Mbps	35/140 m
802.11g	2003	2,4 GHz	20 Mhz	OFDM	6-54 Mbps	38/140 m
802.11n	2009	2,4 / 5 GHz	20 MHz 40 MHz	OFDM+ MIMO	7-289 Mbps 15-600 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)

MIMO = Multiple-Input Multiple-Output

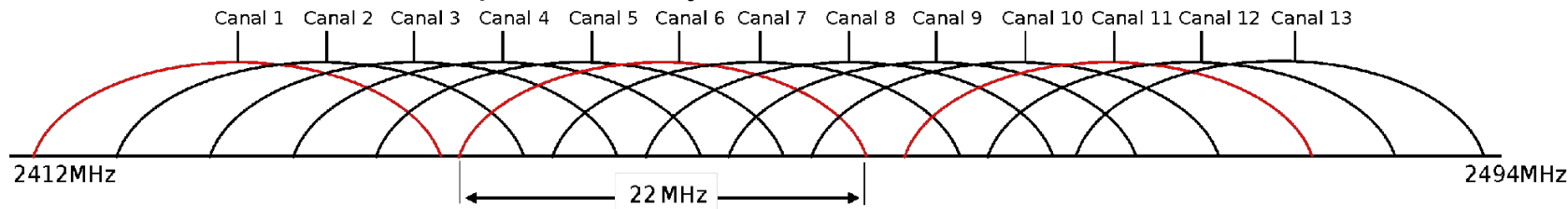
# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

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

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

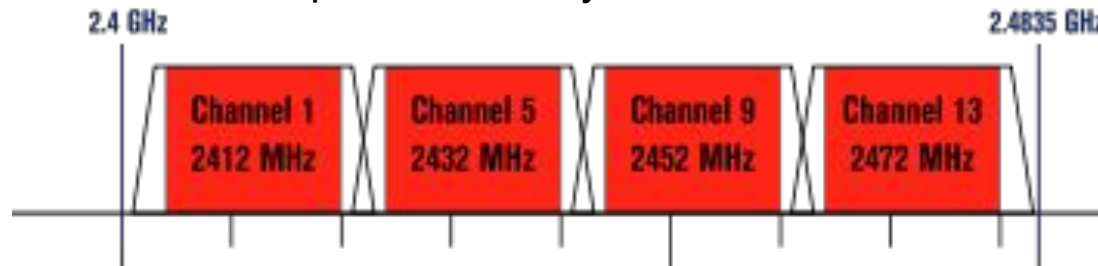
- 802.11b: 13 canales de 22 MHz

- 3 Canales no solapados: 1, 6 y 11



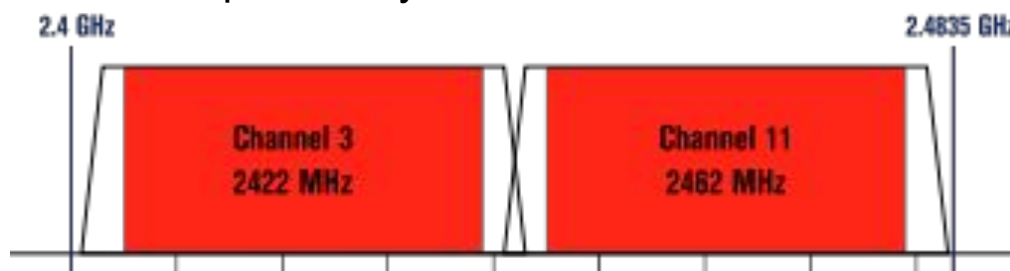
- 802.11g/n: 13 Canales de 20 MHz (16,25 MHz usados para portadora)

- 4 canales no solapados: 1, 5, 9 y 13



- 802.11n: 13 Canales de 40 MHz (33,75 MHz usados para portadora)

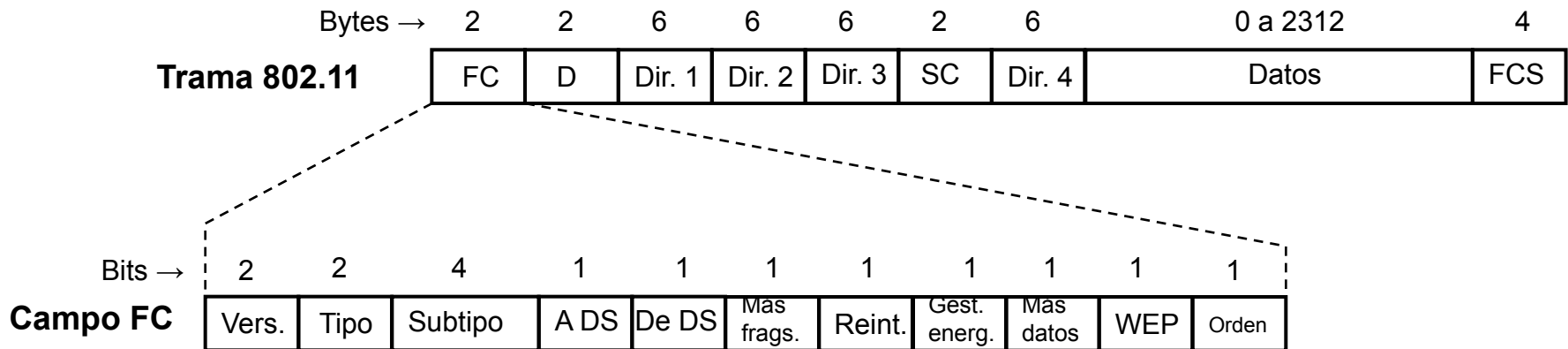
- 2 canales no solapados: 3 y 11



# 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) y gestión (=00)
      - **Subtipo:** ejemplos de subtipos, para tramas de control, son RTS (=1011), CTS (=1100) o ACK (=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
      - **Protección:** indica que se está haciendo uso de un mecanismo de seguridad como WEP, WPA o WPA2
      - **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**

- Identifica cada fragmento (número de fragmento de 4 bits) y trama (número de secuencia de 12 bits) para gestionar las retransmisiones
      - La fragmentación aumenta la posibilidad de transmisión exitosa en medios con baja fiabilidad
      - Las tramas de control no tienen este campo

- **Campo Datos:**

- Puede transportar 0-2312 bytes

- **Campo FCS (secuencia de comprobación de trama)**

- 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

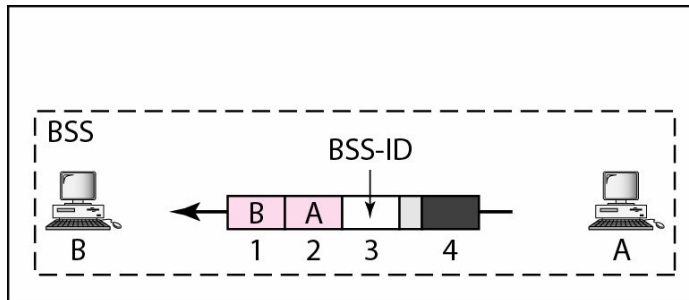
A DS	De DS	Dirección 1	Dirección 2	Dirección 3	Dirección 4
0	0	Destino	Origen	ID de BSS	No usado
0	1	Destino	AP emisor	Origen	No usado
1	0	AP receptor	Origen	Destino	No usado
1	1	AP receptor	AP emisor	Destino	Origen

- Casos

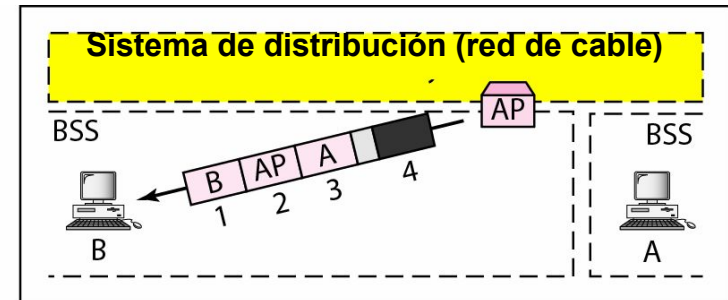
- Caso 1 (00): La trama va de una estación origen a otra destino dentro del mismo BSS sin pasar por un AP (red ad-hoc)
      - Caso 2 (01): La trama procede de un AP y va dirigida a una estación
      - Caso 3 (10): La trama procede de una estación y va dirigida a un AP
      - Caso 4 (11): La trama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

# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

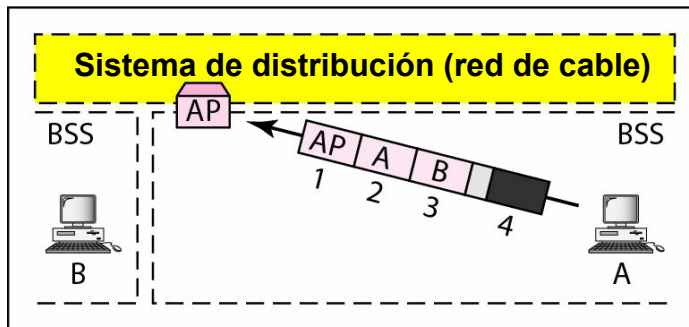
- **Formato de la trama 802.11 (cont.)**
  - Direcciones MAC 802.11 (cont.)
    - Casos (cont.)



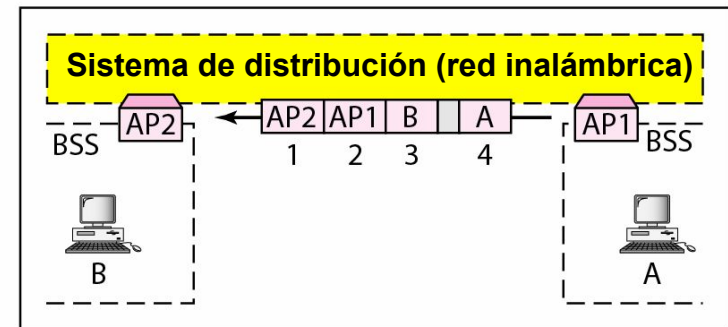
a) Caso 1



b) Caso 2



c) Caso 3

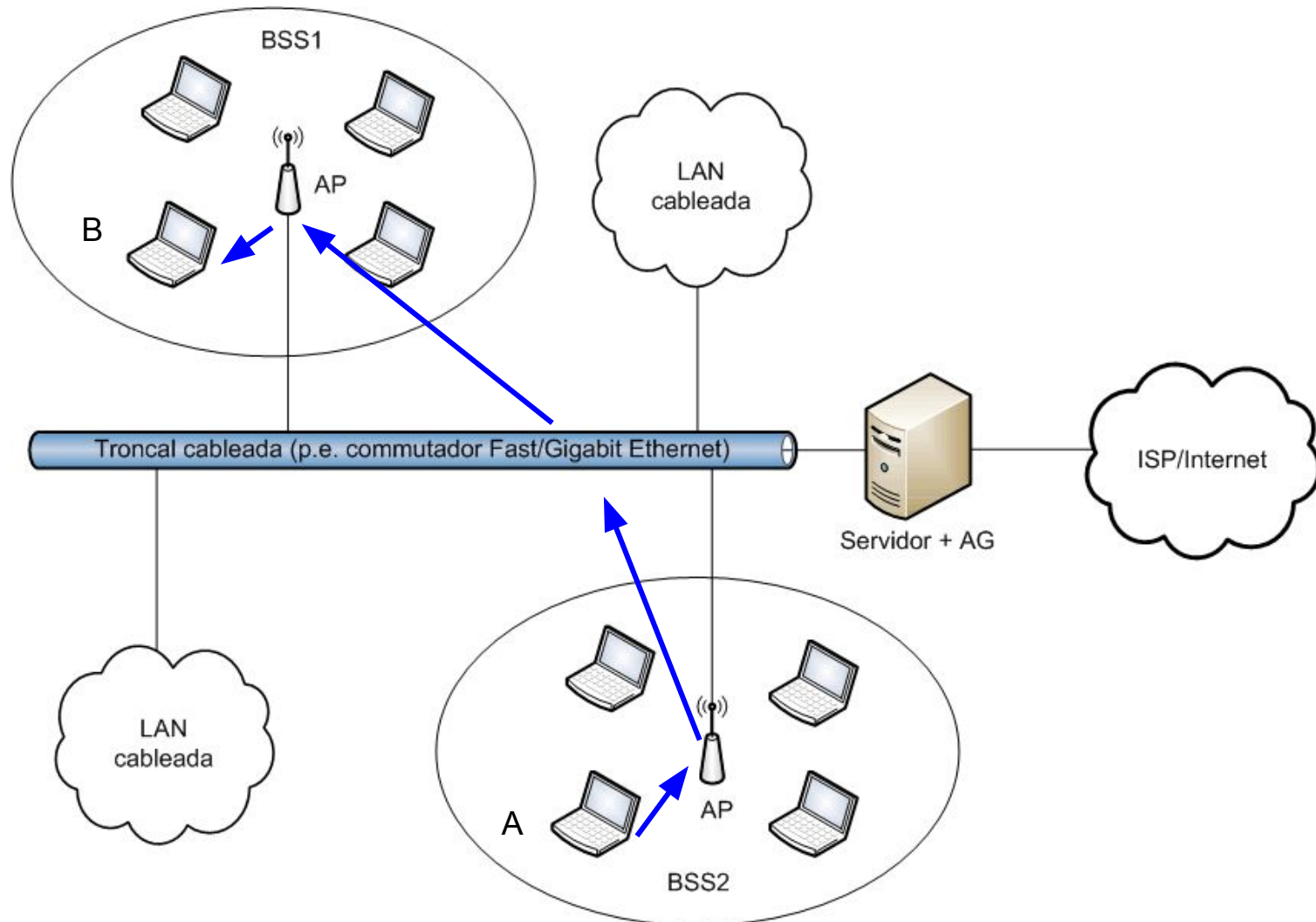


d) Caso 4



# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

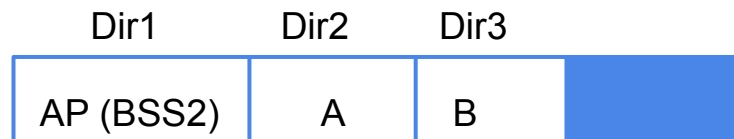
- Interconexión de redes Ethernet-WiFi



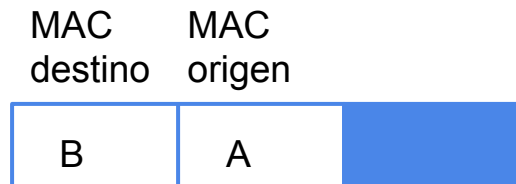
# Redes LAN inalámbricas (WiFi)

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

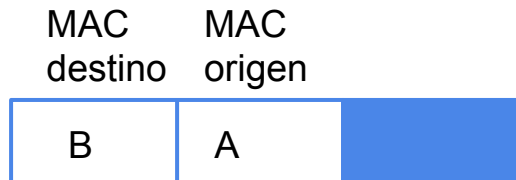
- Tramas en una transmisión desde el host A (BSS2) al host B (BSS1)
  - A envía una trama al AP (BSS2): Trama WiFi



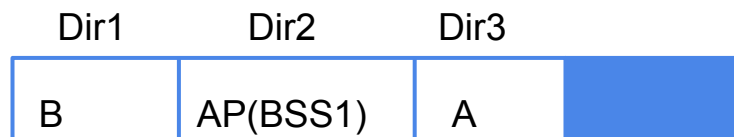
- AP (BSS2) envía una trama al conmutador Fast/Gigabit Ethernet: Trama Ethernet



- Conmutador Fast/Gigabit Ethernet envía una trama al AP (BSS1): Trama Ethernet



- AP (BSS1) envía trama al host B: Trama WiFi



---

### **3. Redes de área extensa (WAN)**

- Evolución redes WAN
- Redes ATM

# Evolución redes WAN conmutadas

---

Desde 1980's hasta la actualidad, se han usado diversas tecnologías WAN conmutadas, alternativas a la red telefónica:

- **X.25**, arquitectura en 3 capas para conmutación de **paquetes**, basada en **circuitos virtuales VC**.  
Procesamiento de paquetes complejo pero muy lento
- **RDSI**, red digital de servicios integrados, digital extremo a extremo (flujo de bits a tasa de bit constante) para voz y datos, usa conmutación de circuitos
- **Frame Relay**, red de conmutación de paquetes, también basada en circuitos virtuales, sobre la RDSI.  
Arquitectura simplificada en 2 capas
- **ATM**, usada en la actualidad

# Introducción a ATM

---

- **ATM** = Asynchronous Transfer Mode.
  - Diseñada como nueva RDSI, red de datos + voz, de carácter asíncrono
- WAN de **conmutación de paquetes**, pero con paquetes de tamaño fijo y muy pequeño: **CELDAS de 53 bytes**
- Servicio de conexión basado en **Circuitos Virtuales**: Todas la celdas siguen la misma ruta y se entregan en orden
- No garantiza corrección de datos entregados
- Uso de técnicas avanzadas de QoS (calidad de servicio)

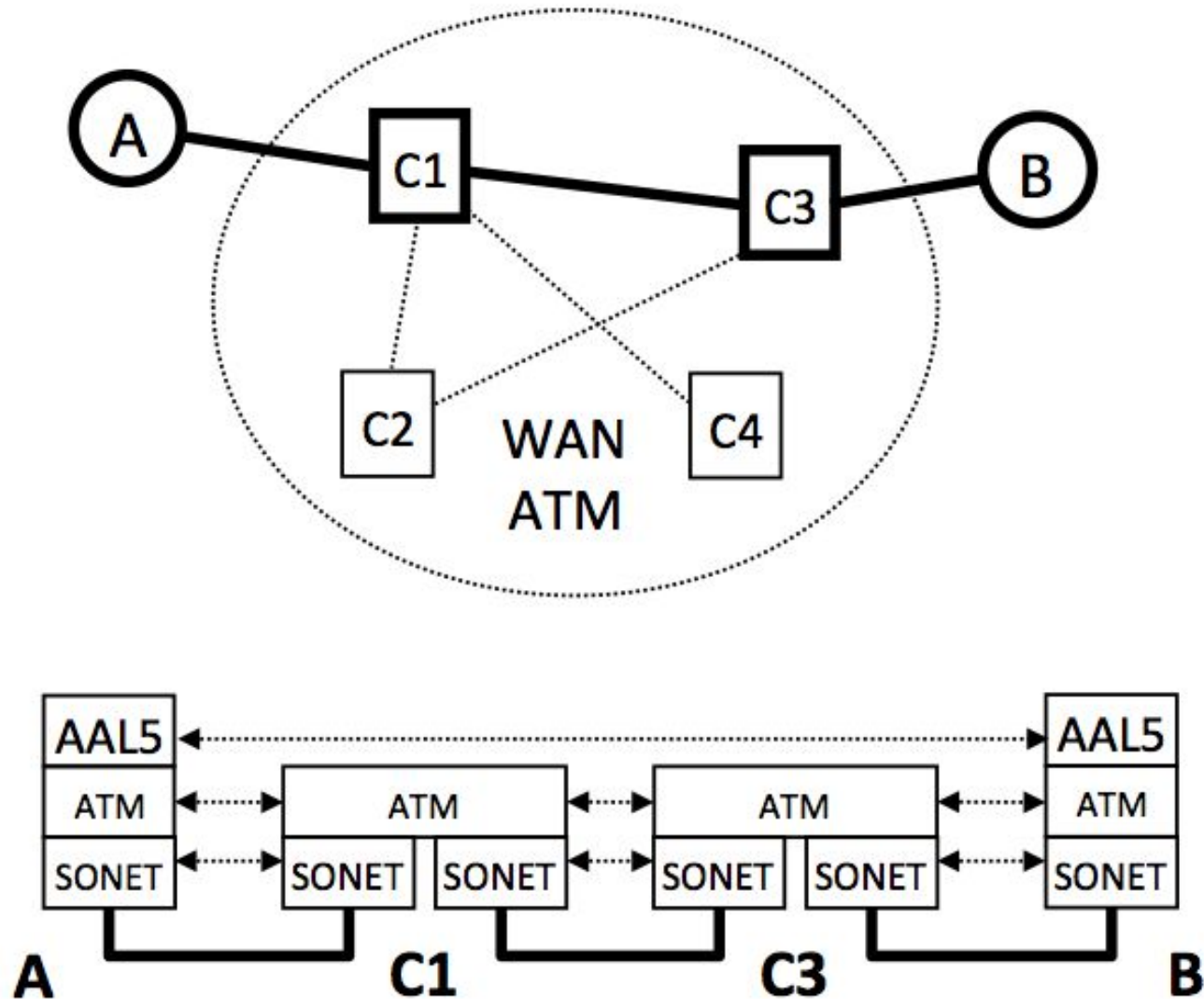
# Capas de protocolos ATM

---

- La capa de Adaptación ATM (AAL):
  - Descomposición de mensajes de las capas superiores en celdas y reensamblado
  - El protocolo más usado es AAL5
- La capa ATM:
  - Transmisión/Conmutación/Recepción de celdas
  - Control de congestión/Gestión de buffers
  - Generación/eliminación de las cabeceras de las celdas en fuente/destino
  - Entrega en secuencia
- La capa Física:
  - Uso habitual de portadoras SONET o SDH, y también PDH

# Ejemplo de una red ATM

## Ejemplo de red ATM y arquitectura de capas



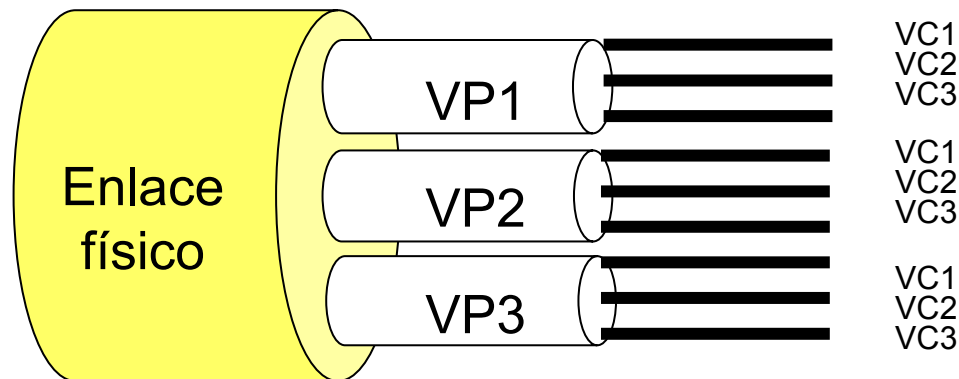
# Conexiones ATM: circuitos virtuales

- ATM sólo proporciona servicio orientado a conexión a través de conexiones de circuitos virtuales (VCC)
- Tipos de VCC
  - **PVC, Circuito virtual permanente:** se crea por el administrador y permanece fijo. Es el más habitual
  - **SVC, Circuito virtual conmutado:** se crea mediante llamada a partir de la dirección ATM del destino, para una única comunicación
- La ruta entre el origen y el destino a través de switches ATM se decide cuando se crea el VCC
  - Todas las celdas siguen en adelante la misma ruta
- No detección ni corrección de errores (sólo se realiza descarte de celdas con cabecera errónea)
- Garantizada entrega en secuencia de las celdas



# Conexiones ATM: circuitos virtuales

- **Caminos y canales virtuales**
  - El Circuito Virtual VCC se identifica con un par valores:
    - **VPI: Identificador de Camino (“path”) Virtual**
    - **VCI: Identificador de Canal Virtual**
  - Un camino virtual (VPI) puede englobar varios canales virtuales (VCI) con un mismo origen y destino
    - Los switches suelen conmutar basados en VPI únicamente
    - En ese caso por cada VCI se gestiona una comunicación independiente entre los mismos hosts extremo
  - Los valores de VPI/VCI se interpretan localmente en cada switch



# Formato de celda ATM

GFC/VPI		VPI	
VPI		VCI	
VCI			
VCI		PT	CLP
HEC			
Carga (48 bytes)			

- **GFC**: Control de flujo genérico (no usado habitualmente)
- **VPI/VCI: Identificador de conexión** en dos niveles:
  - Primeros 8/12 bits: Camino virtual (VPI)
  - Últimos 16 bits: Canal virtual (VCI)
- **HEC**: Control error cabecera CRC-8  $1+x+x^2+x^8$
- **PT**: tipo de carga, celda de datos de usuario o celda de control
- **CLP**: Prioridad de pérdida de celda, alta (0)/baja (1)

---

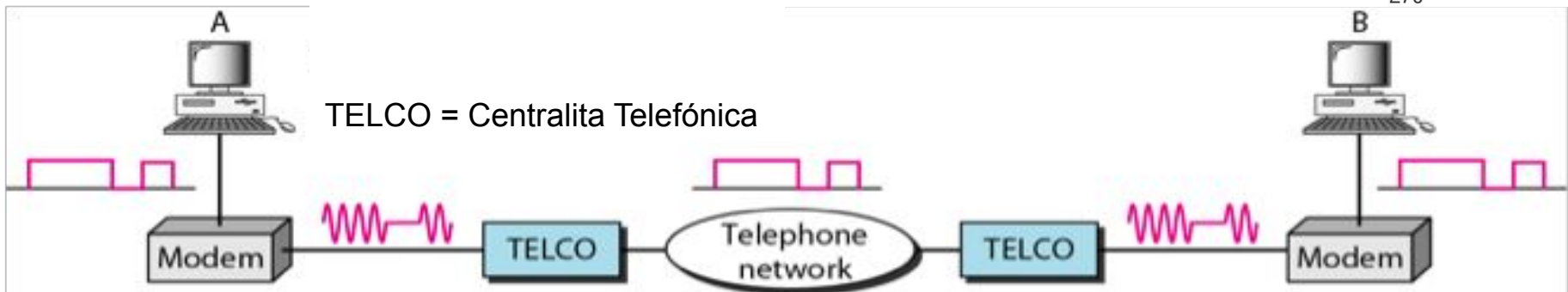
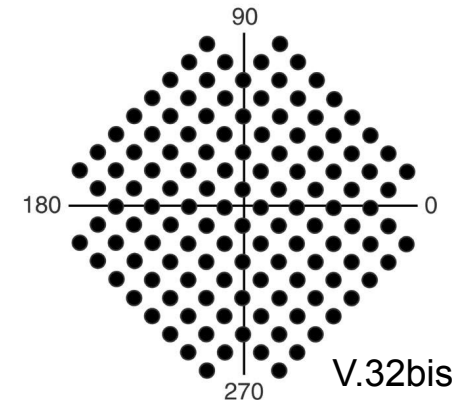
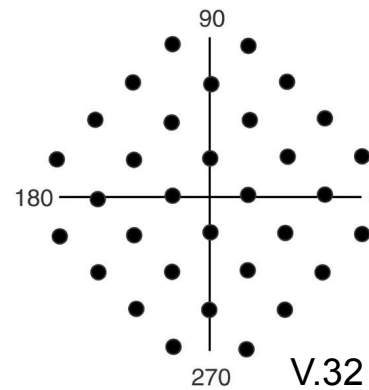
## **4. Tecnología de acceso residencial**

- Conexión telefónica por módem convencional
- ADSL
- Módem de cable
- FTTx

# Conexión telefónica por módem

- **Módem convencional (dial-up modem)**

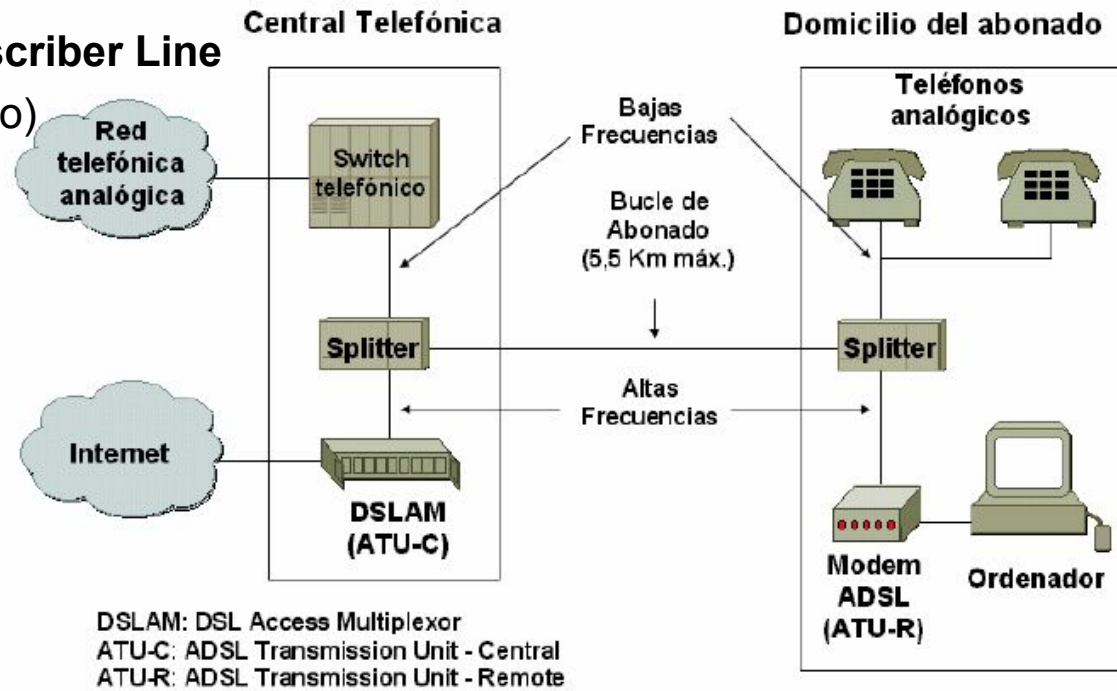
- Utiliza el bucle de abonado (conexión entre el usuario final y la centralita telefónica) de la red telefónica convencional RTB
  - Ancho de banda: 4.000 Hz (usado típicamente para transmisión de voz)
- Necesario el uso de MODEM
  - Convierte los datos digitales a una señal analógica portadora
    - la RTB la trata IGUAL que a una señal de voz (codec PCM, etc.)
  - Estándares de módems
    - V.32: 9,6 Kbps
    - V.32bis: 14,4 Kbps
    - V.34bis: 33,6 Kbps
    - V.92: 56 Kbps de bajada y 48 Kbps de subida



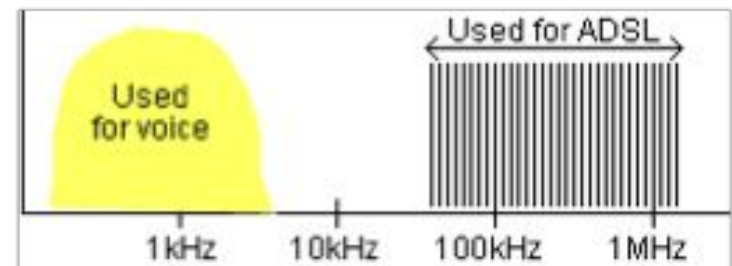
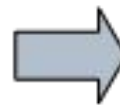
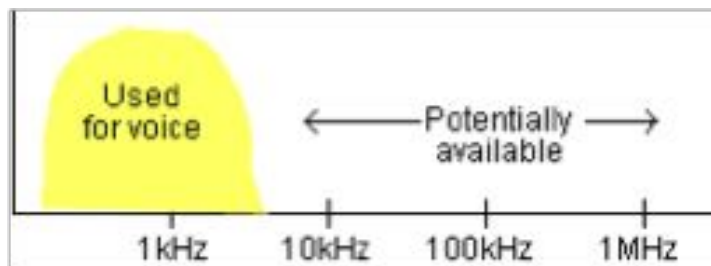
# ADSL

- **ADSL = Asymmetric Digital Subscriber Line**  
(bucle de abonado digital asimétrico)

- Tecnología de multiplexación de la línea de abonado que permite transmitir voz + datos a través de la línea telefónica convencional

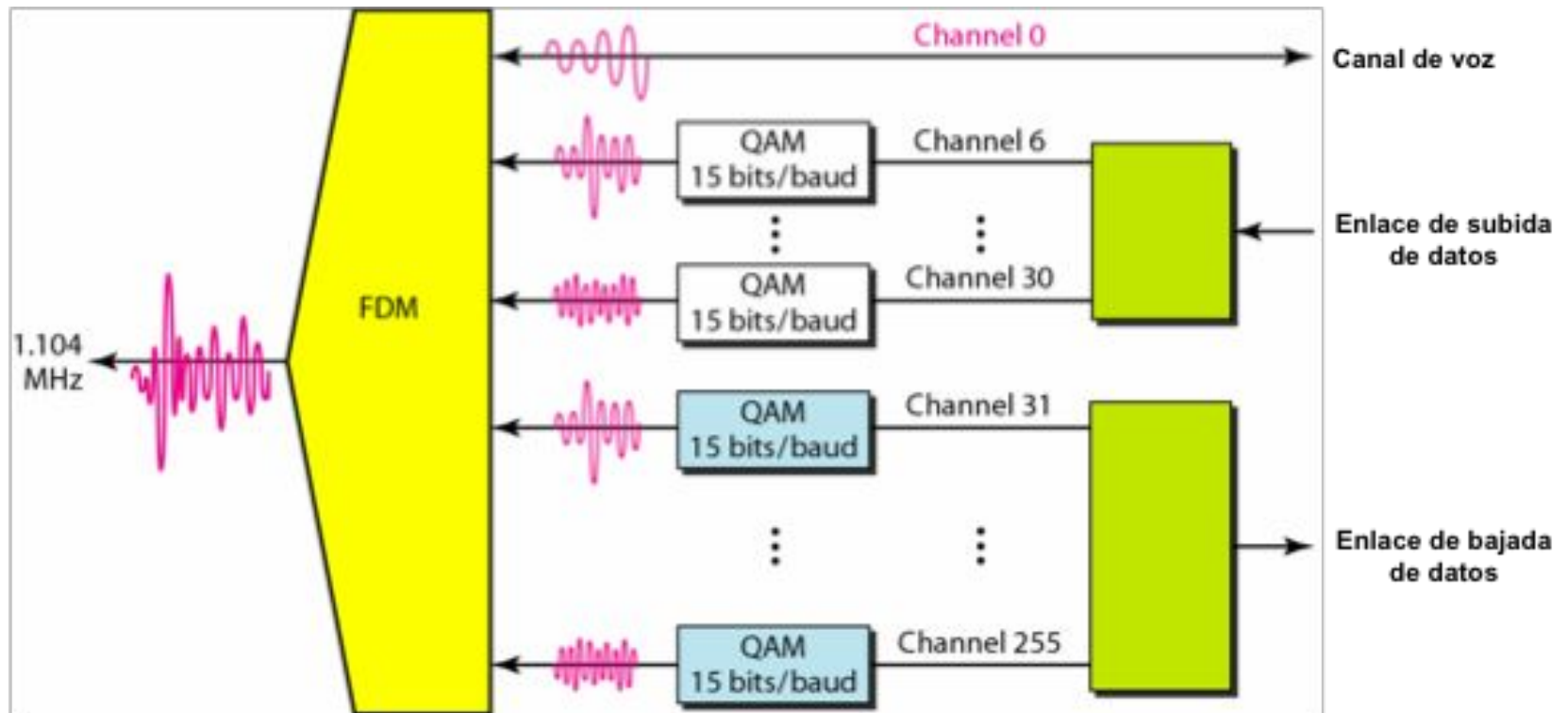


- Aprovecha el ancho de banda no utilizado por el canal telefónico RTB
  - El ancho de banda real del bucle de abonado es de 1,1 Mhz aprox.
  - La transmisión de voz de la RTB unos 4000 Hz



# ADSL

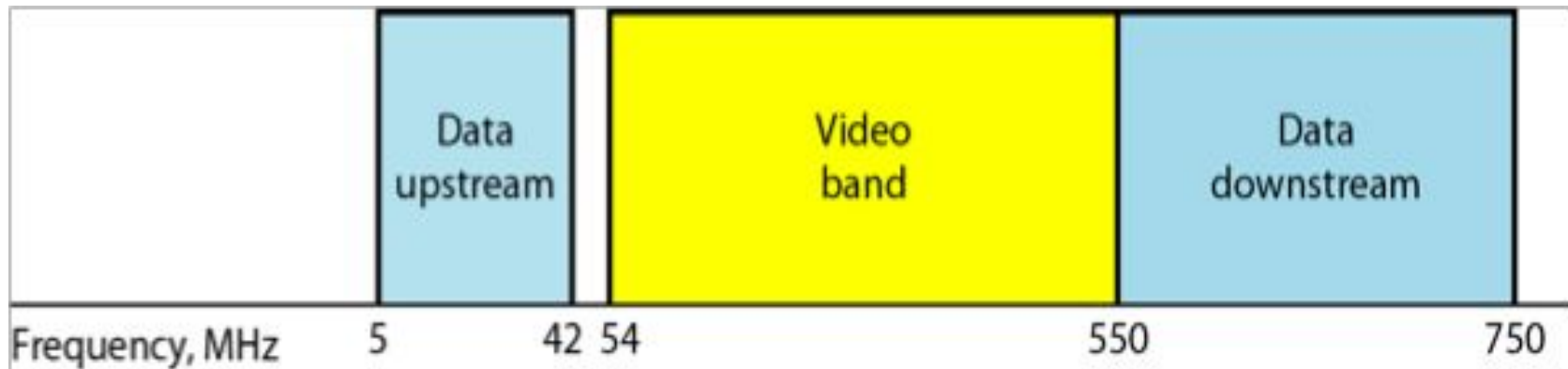
- **Técnica básica: Multitono Discreto (DMT, Discrete Multitone)**
  - Multiplexación FDM: El ancho de banda de la línea telefónica (1,104 MHz) se divide en **256 canales independientes** de 4,3125 KHz cada uno (4 KHz usados + 312,5 Hz de banda de guardia)
  - En cada canal se usa una subportadora analógica independiente, modulada a 4 Kbaud con QPSK o QAM, permitiendo entre 2 y 15 bit por baudio
  - ADSL2+ usa 512 canales hasta 2,208 MHz





# Módems de Cable (DOCSIS)

- Fue desarrollada para aprovechar la infraestructura de **CATV** (Televisión por cable) muy extendida en EE.UU. y otros países
  - Permite recibir decenas de canales de TV a través de una red de cable coaxial
  - Parte del ancho de banda disponible se puede utilizar para transmisión de datos



- En la actualidad se utiliza como último tramo de redes híbridas de fibra y coaxial (HFC = Hybrid Fibre-Coaxial)



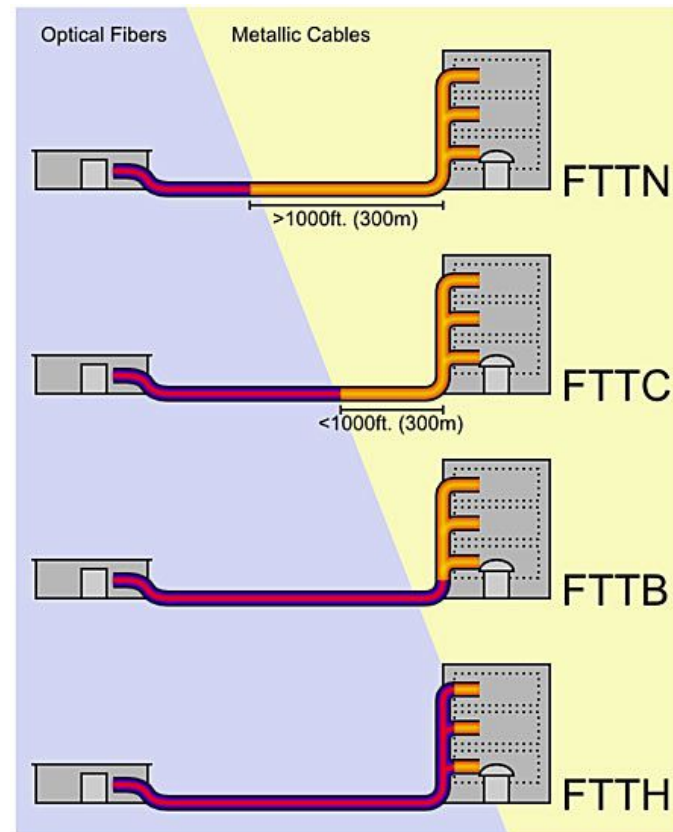
# Módems de Cable

---

- Tecnología **DOCSIS** (Data Over Cable Service Interface Specification), **más usada 3.0**. Canales de 6 MHz
- En Europa, **EuroDOCSIS** debido al distinto ancho de banda de los canales TV (8 MHz del estándar de TV PAL)
- Canales de bajada de datos (550 a 750 MHz)
  - Múltiples canales de 6/8 MHz
  - Uso de 64-QAM y 256-QAM
  - Velocidad máxima por canal: 42/55 Mbps aprox.
- Canales de subida de datos (5 a 42 MHz)
  - Múltiples canales de 6/8 MHz
  - Uso de QPSK, y de 16-QAM hasta 128-QAM
  - Velocidad máxima por canal: 30 Mbps aprox.
- Pueden agregarse canales para proporcionar tasas de bit elevadas

# Fibra óptica (FTTx)

- La fibra óptica hasta el hogar se están introduciendo recientemente en muchos países (incluido España)
  - Aplicaciones: transmisión de voz, audio, video, TV y datos
  - Mejores prestaciones en ancho de banda y velocidad que el ADSL
  - Despliegue combinado con Módem de Cable
- Escenarios FTTx según el alcance de la fibra:
  - FTTN: Fibra hasta el nodo
    - Conexión de fibra hasta un nodo de comunicaciones
    - Cable de cobre desde el nodo al domicilio del usuario (de 300 m a 1,5 km)
  - FTTC: Fibra hasta la cabina
    - Conexión de fibra hasta la cabina de comunicaciones cercana al edificio
    - Resto de cobre (menos de 300 m)
  - FTTB: Fibra hasta el edificio
    - Conexión de fibra hasta la base del edificio
  - FTTH: Fibra hasta el hogar
    - Conexión de fibra hasta el domicilio del usuario



# Fibra óptica (FTTx)

- **FTTH basada en GPON**

- GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) es una de las tecnologías más extendidas para ofrecer servicios FTTH (ej. fibra de Movistar)

- Principales componentes

- OLT (Optical Line Termination)

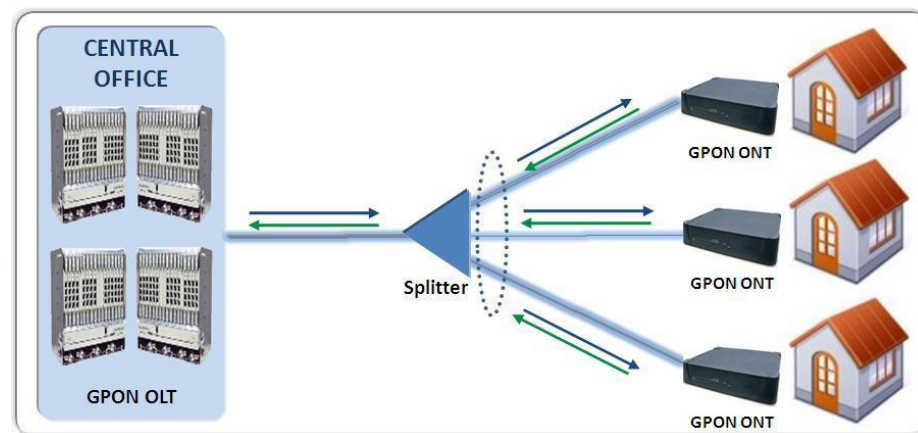
- Es el elemento activo situado en la central telefónica.
- De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios (capacidad para dar servicio a varios miles de usuarios)

- ONT (Optical Network Termination)

- Es el elemento situado en el domicilio del usuario donde termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario.

- Splitters (divisores)

- Dividen la fibra óptica hacia las distintas ONT
- Son elementos pasivos, es decir, se limitan a agrupar o desagregar las diferentes fibras pero no amplifican ni modifican la señal.
- Puede haber varios niveles de splitters entre la OLT y los domicilios de los usuarios



# Fibra óptica (FTTx)

- **FTTH basada en GPON (cont.)**

- Principales prestaciones de GPON

- Soporte global multiservicio (Voz, Ethernet 10/100 Base T, ATM)
- Alcance físico de 20 km
- Soporte para varias tasas de transferencia
  - Tráfico simétrico: hasta 1.25 Gbit/s
  - Tráfico asimétrico: hasta 2.5 Gbit/s en sentido descendente y 1.25 Gbit/s en sentido ascendente.

- Evolución tecnología GPON

