

TEMA 2. Capa física y capa de enlace

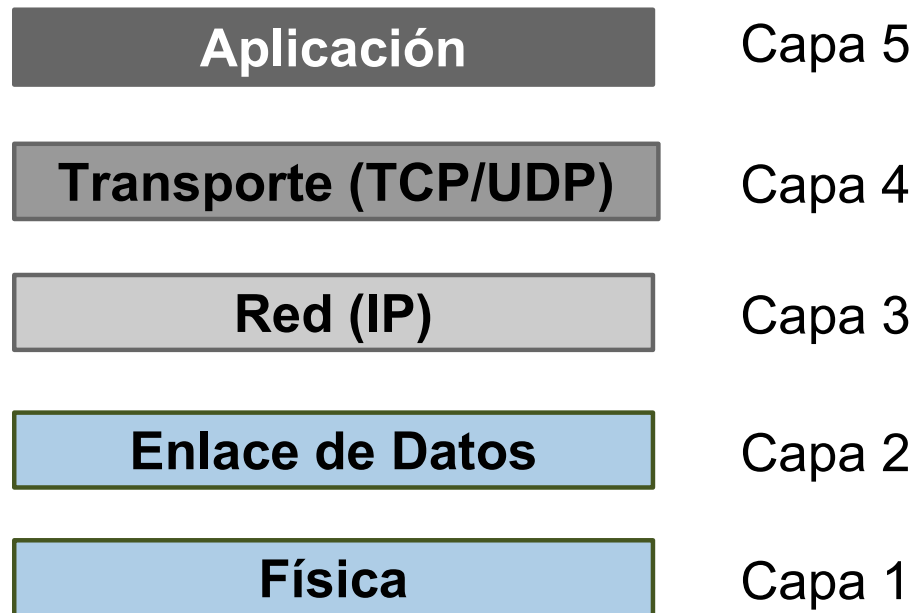


Profesora: Guadalupe Miñana Ropero

Transparencias basadas en las de la asignatura de Redes de los grados de Informática de FDI

Capas física y de enlace

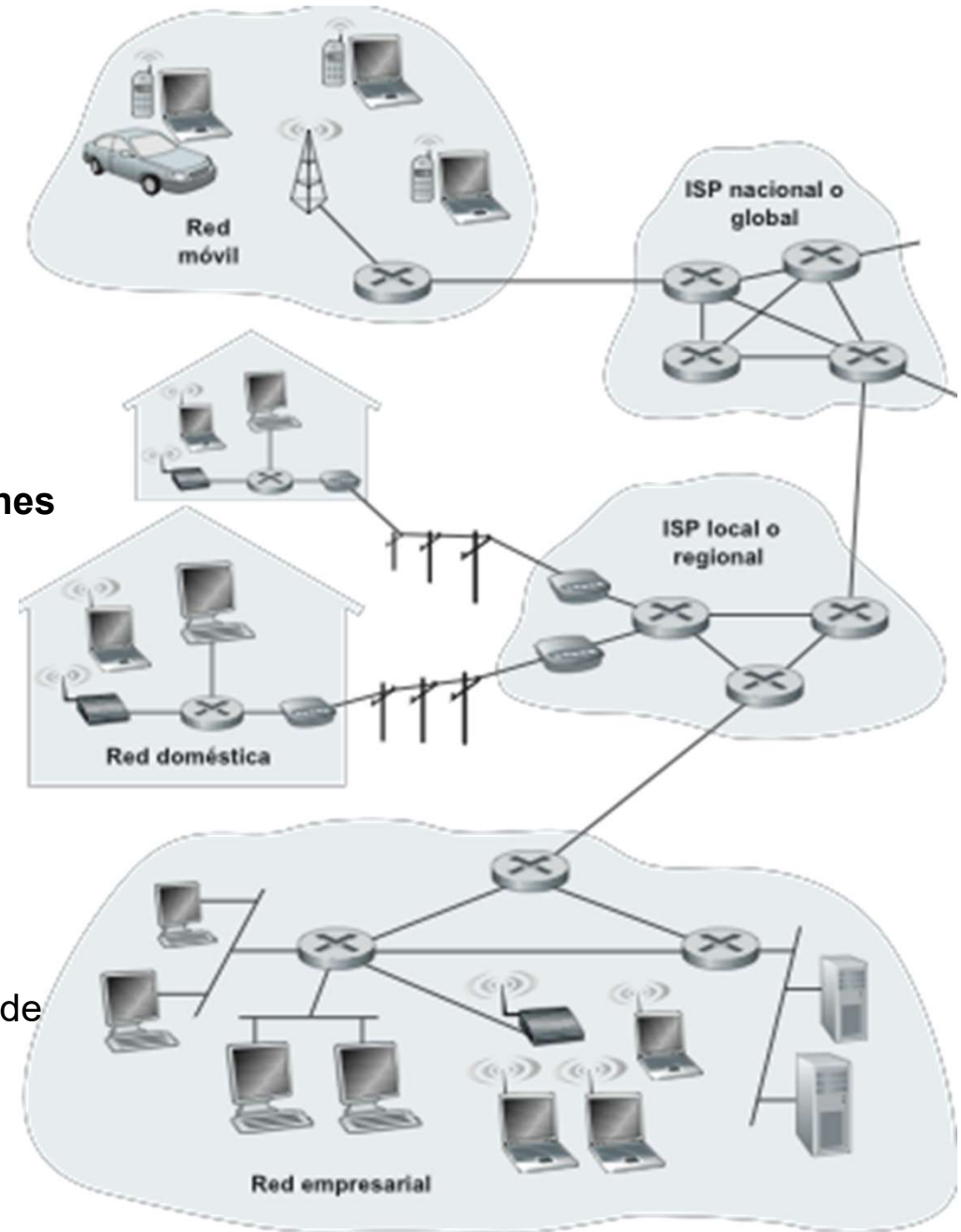
- La arquitectura TCP/IP se suele implementar mediante un modelo de 5 capas



- La **organización y función** de las capas de Enlace y 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)

Principales infraestructuras de red

- **Redes troncales (WAN)**
 - Se utilizan en los proveedores de acceso a Internet (ISP)
 - Tecnologías: redes telefónicas, redes conmutadas y redes de telefonía móvil
- **Redes de área local (LAN)**
 - Usadas en redes de empresas, instituciones y hogar
 - Tecnologías: **Ethernet y WiFi**
 - Conectadas a las redes troncales mediante una conexión directa entre routers o una conexión de acceso residencial
- **Tecnologías de acceso residencial**
 - Conectan las redes LAN con las WAN (ISP)
 - Tecnologías: modem convencional, módem de cable, ADSL y Fibra óptica

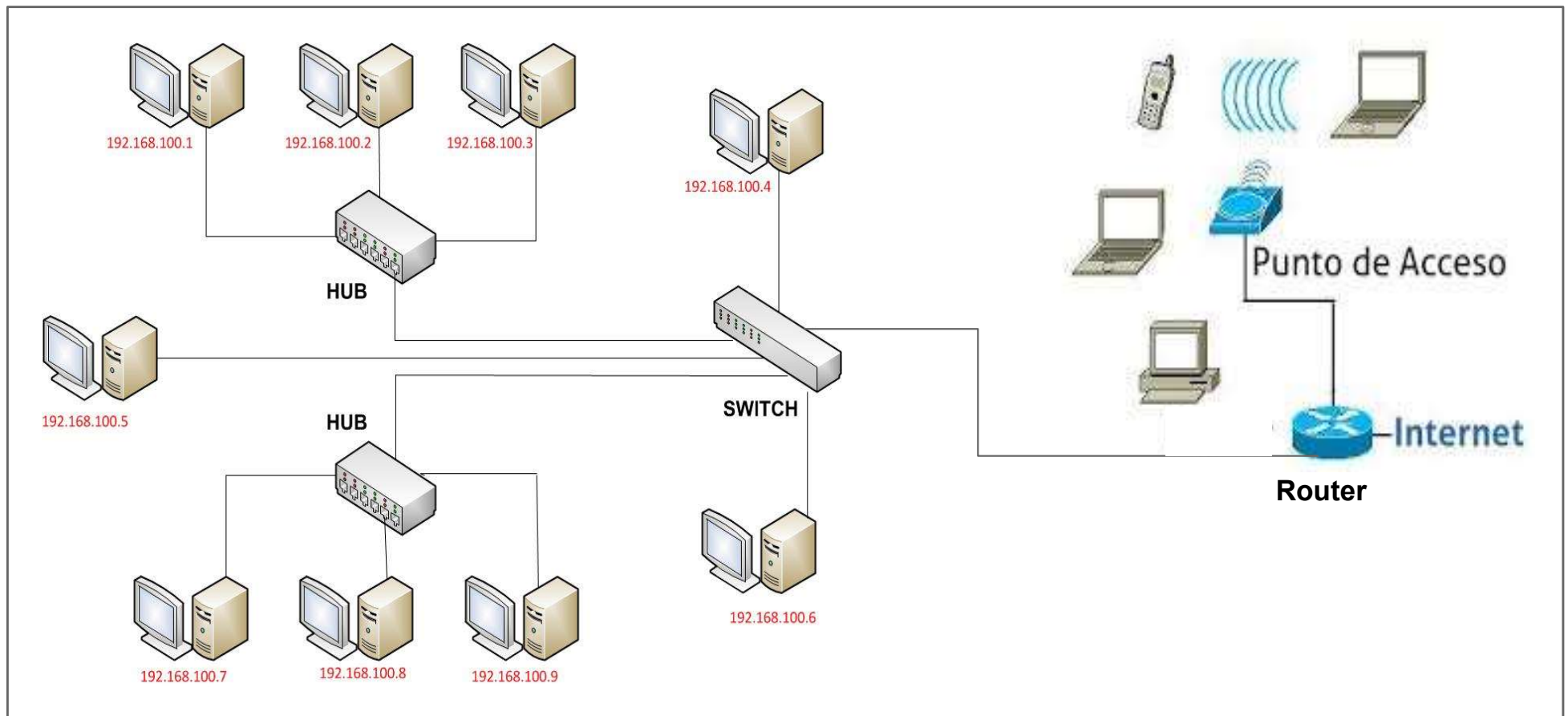


ISP = proveedor de acceso a Internet

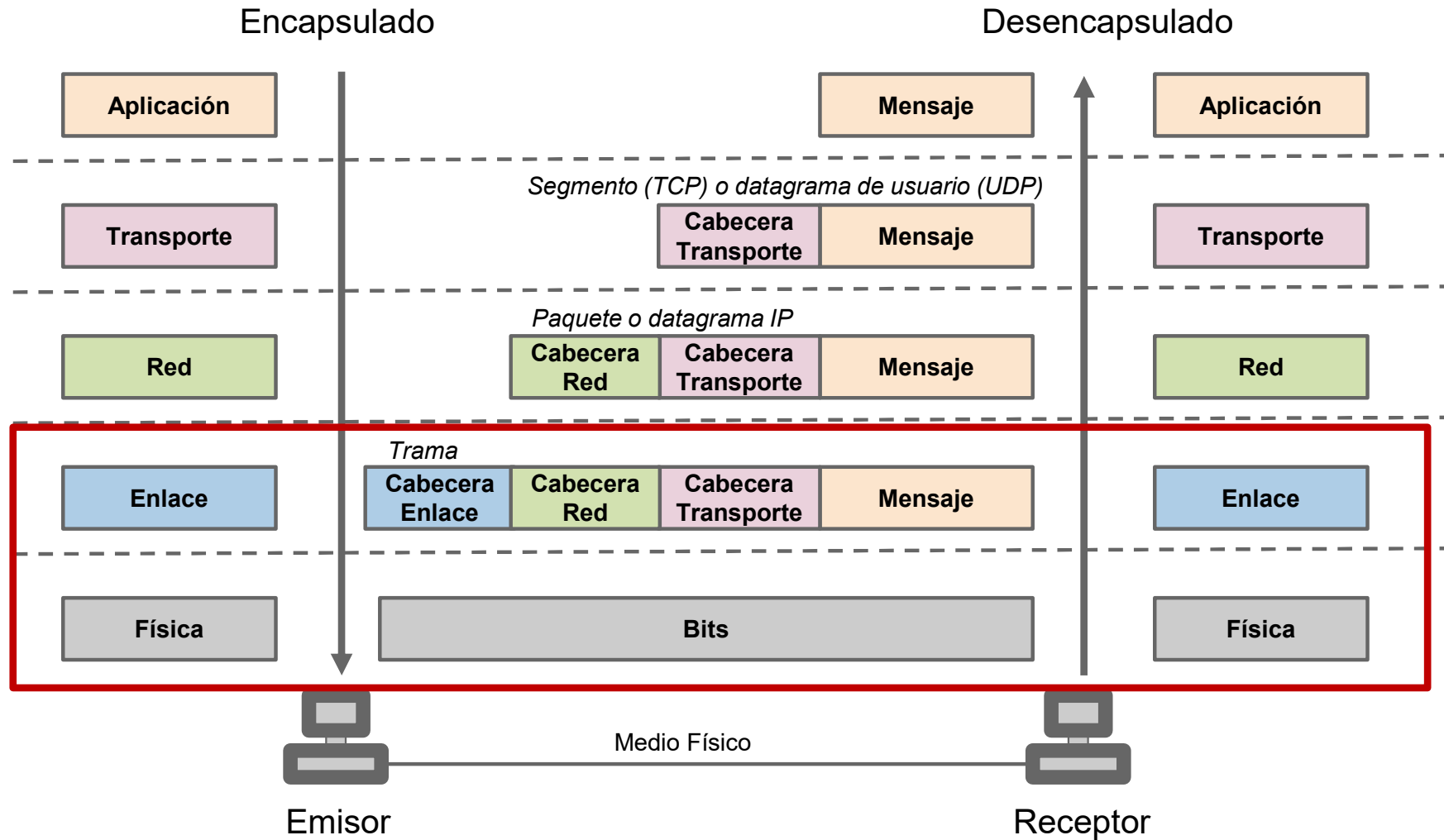
Redes de área local (LAN)

Topologías

- En la actualidad las redes de área local están dominadas por:
 - Canal compartido (o de difusión) en estrella (WiFi)
 - Conmutadas en estrella con switch



Capas física y de enlace



Capa física

Conceptos de Transmisión de Datos

Datos y señales

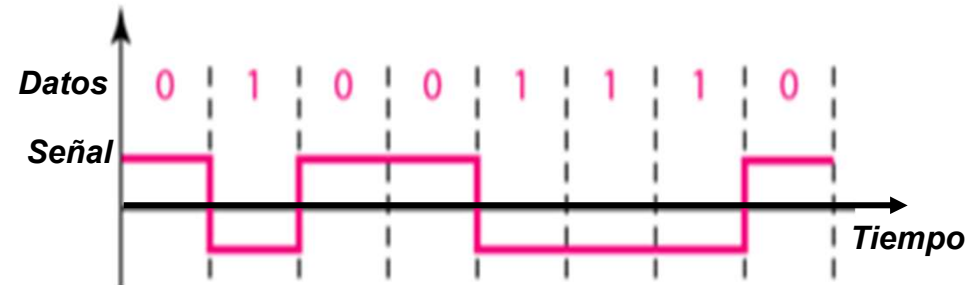
¿Cómo representar datos binarios mediante señales?

- Usando **señales digitales** \Rightarrow distintos niveles discretos de voltaje.
Se denomina **transmisión digital** o **transmisión en banda base**

Ejemplos:

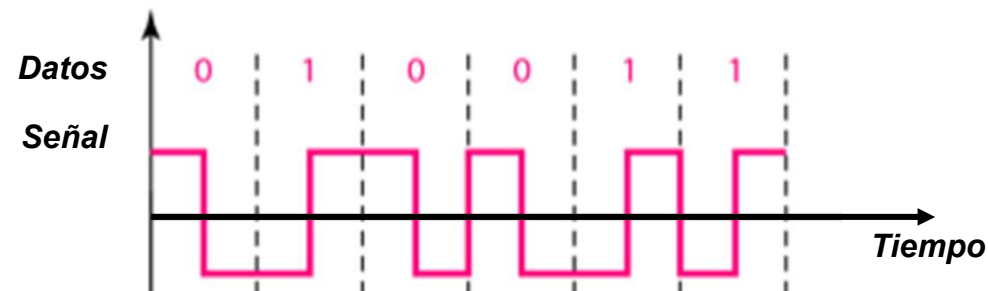
Codificación polar NRZ (sin retorno a cero)

- Utiliza dos niveles eléctricos con polaridades opuestas (-V, +V)



Codificación polar bifase Manchester

- Utiliza dos niveles eléctricos de polaridad opuesta (-V, +V)
- Cada elemento de datos se codifica con una transición en mitad del intervalo
 - 0 = Nivel alto seguido de bajo
 - 1 = Nivel bajo seguido de alto



Datos y señales

¿Cómo representar datos binarios mediante señales?

- Usando **señales analógicas** \Rightarrow distintas formas de onda (ej. variaciones de la amplitud, frecuencia o fase).

Se denomina **transmisión analógica** o **transmisión en banda ancha**

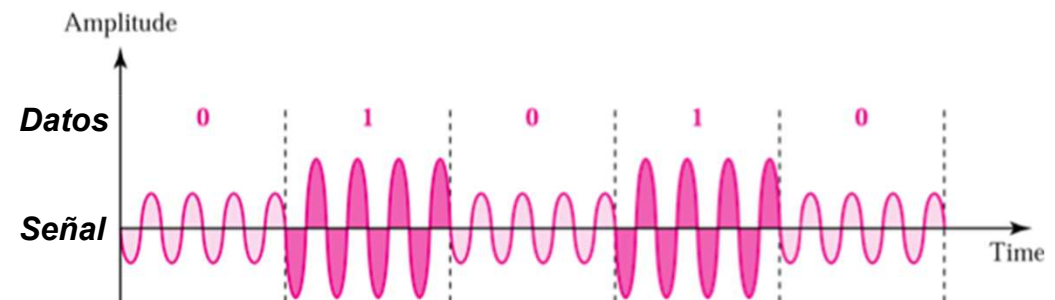
Ejemplos:

Modulación en Amplitud

Utiliza una señal portadora con frecuencia y fase constante, pero dos niveles de amplitud distintos para representar el 1 y el 0 lógicos:

$$1 \rightarrow s(t) = A \sin(2\pi ft)$$

$$0 \rightarrow s(t) = B \sin(2\pi ft)$$

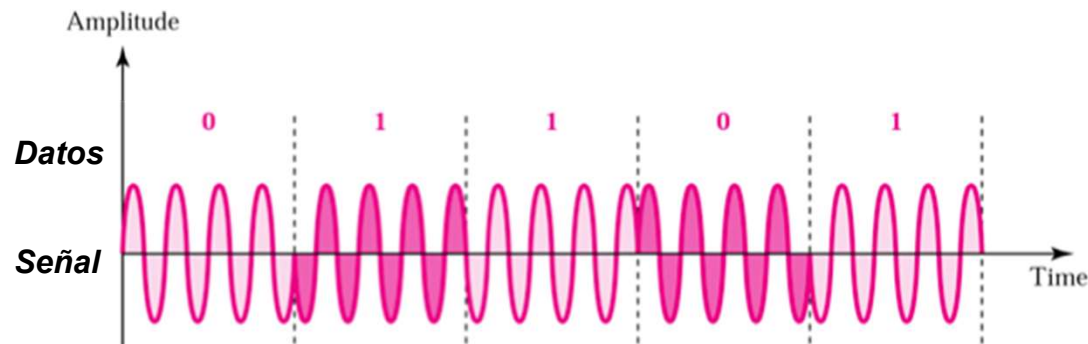


Modulación en Fase

Utiliza dos fases distintas para representar el 1 y el 0 lógicos, por ejemplo:

$$0 \rightarrow s(t) = A \sin(2\pi ft)$$

$$1 \rightarrow s(t) = A \sin(2\pi ft + \pi)$$



Datos y señales

- **Elementos de señal (símbolos) y elementos de datos (bits)**
 - Un **elemento de señal o símbolo** es cada uno de los distintos estados de la señal (distintos niveles eléctricos o distintas formas de onda) que se utilizan para codificar los datos binarios
 - Cada elemento de señal puede representar uno o varios **elementos de datos o bits**:
 - **R = relación de bits por elemento de señal**
 - Si tenemos V símbolos podemos codificar R bits por elemento de señal siendo $V=2^R$
Ejemplos:
 - $V = 2$ elementos de señal $\Rightarrow R = 1$ bit por elemento de señal
 - $V = 4$ elementos de señal $\Rightarrow R = 2$ bits por elemento de señal
 - $V = 8$ elementos de señal $\Rightarrow R = 3$ bits por elemento de señal
 - $V = 16$ elementos de señal $\Rightarrow R = 4$ bits por elemento de señal
 -

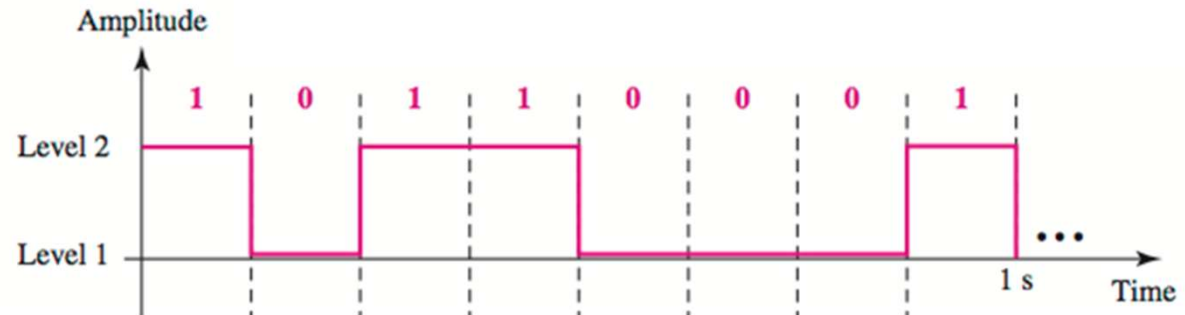
Datos y señales

Transmisión digital

Ejemplo 1

Dos elementos de señal = 2 niveles eléctricos

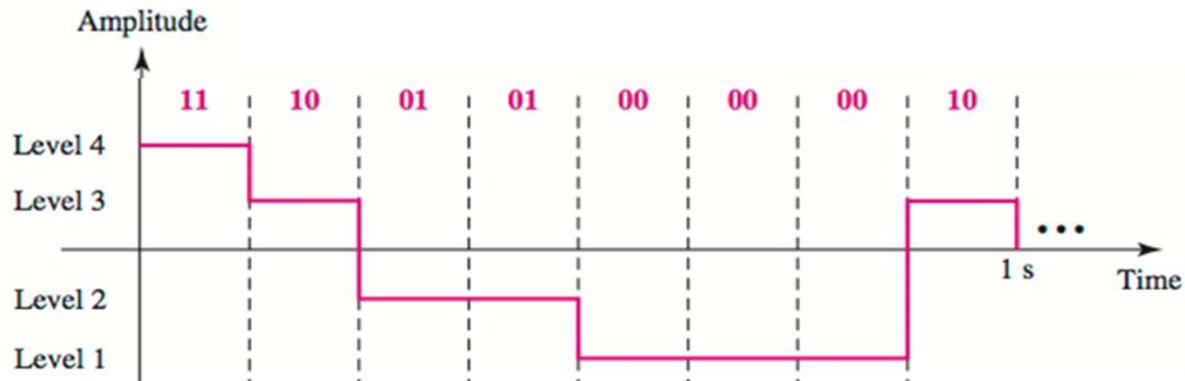
$$V=2^R \Rightarrow 2=2^R \Rightarrow R = 1 \text{ bit por elemento de señal}$$



Ejemplo 2

Cuatro elementos de señal = 4 niveles eléctricos

$$V=2^R \Rightarrow 4=2^R \Rightarrow R = 2 \text{ bit por elemento de señal}$$



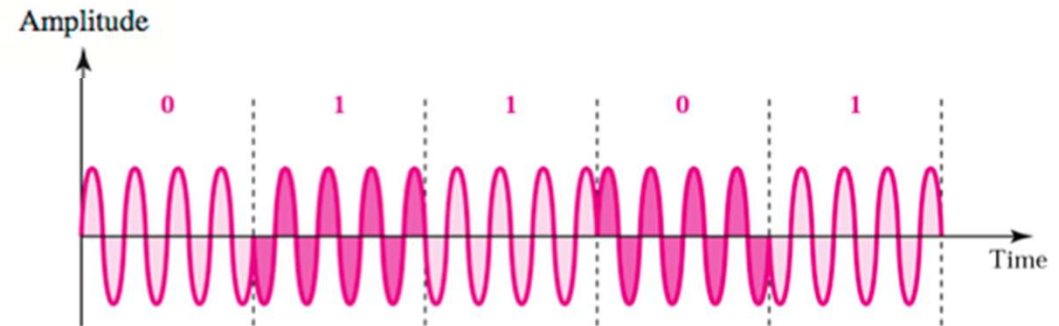
Datos y señales

Transmisión analógica

Ejemplo 1

Dos elementos de señal = 2 fases distintas:
 0° y 180°

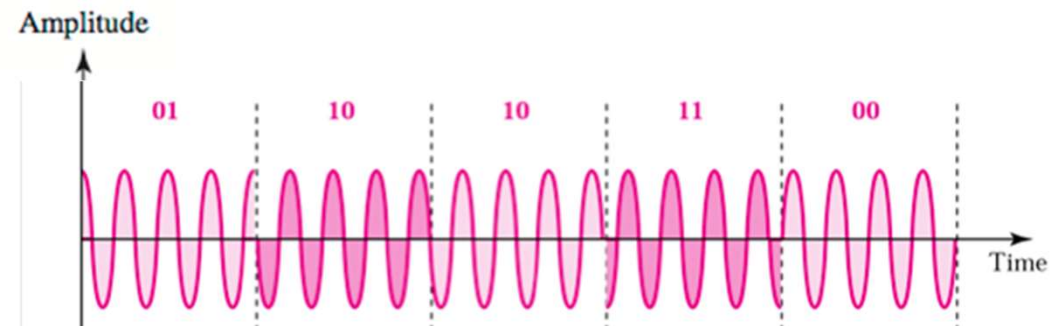
$$V=2^R \Rightarrow 2=2^R \Rightarrow R = 1 \text{ bit por elemento de señal}$$



Ejemplo 2

Cuatro elementos de señal = 4 fases distintas:
 0° , 90° , 180° , 270°

$$V=2^R \Rightarrow 4=2^R \Rightarrow R = 2 \text{ bit por elemento de señal}$$



Propiedades de un canal de transmisión

Tasa de baudios (baud rate) de un canal de transmisión

- Número de veces que puede cambiar el estado de la señal (cambios de nivel eléctrico o de forma de onda) por unidad de tiempo, es decir, nº de símbolos o elementos de señal por segundo
- Ejemplo: en un canal de 100 baudios, se pueden transmitir 100 elementos de señal distintos por segundo

Tasa de bits (bit rate) de un canal de transmisión

- También se llama **velocidad de transmisión**
- **Número de bits de datos que se transmiten por** unidad de tiempo
- Se mide en bits por segundo (bps)

Relación entre tasa de baudios y tasa de bits

| | |
|------------------|---|
| R | Nº de bits por elemento de señal (también denominada relación bits por baudio) |
| B | Tasa de baudios |
| $C = R \times B$ | Tasa de bits o velocidad de transmisión (bps) |

Propiedades de un canal de transmisión

- **Ancho de banda de un canal** de transmisión

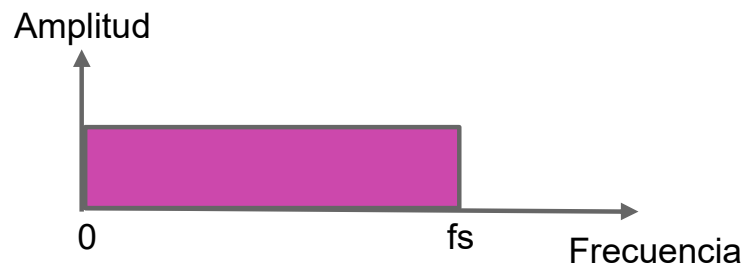
- El ancho de banda (H) de un canal es el **rango de frecuencias que este canal puede transmitir** para una distancia determinada **sin atenuación**

$$H = f_s - f_i$$

- f_i = frecuencia de corte inferior
- f_s = frecuencia de corte superior

- Tipos de canales de transmisión

Canal paso-baja



- La frecuencia de corte inferior es $f_i=0$
- Deja pasar todas las frecuencias inferiores a f_s ($f \leq f_s$)

Canal paso-banda

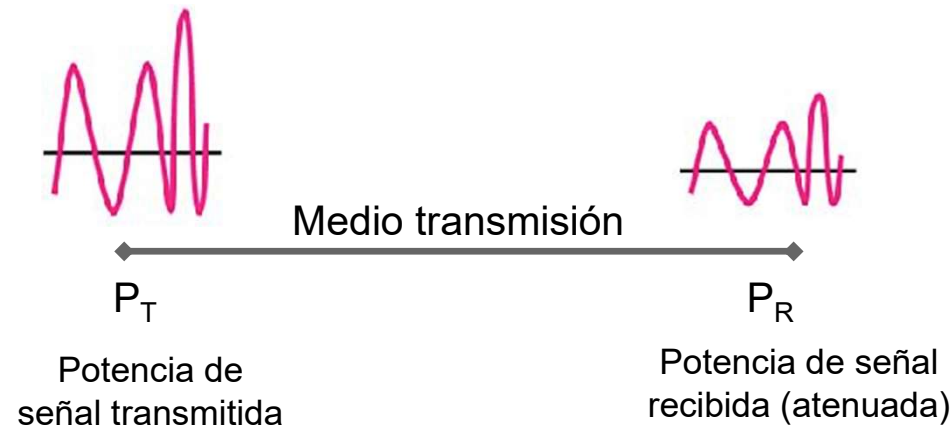


- La frecuencia de corte inferior es $f_i>0$
- Deja pasar todas las frecuencias dentro de la banda entre f_i y f_s ($f_i \leq f \leq f_s$)

Propiedades de un canal de transmisión

Atenuación

- ✓ La energía de la señal decae con la distancia recorrida en el canal de transmisión



Propiedades de un canal de transmisión

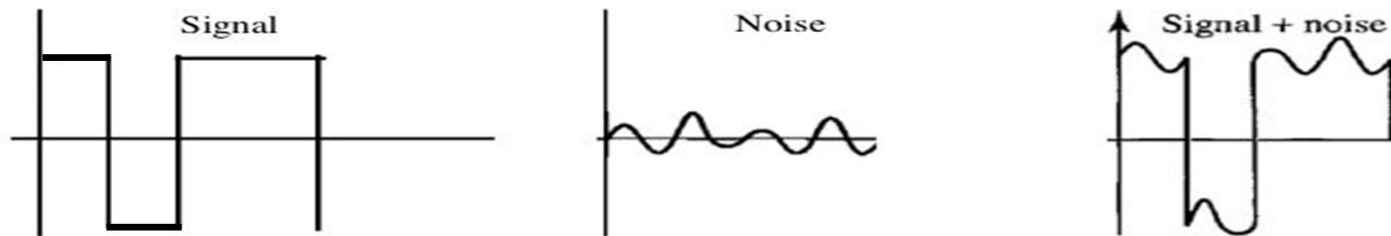
Ruido

- ✓ Todos los medios de transmisión están sujetos a ciertos tipos de ruidos

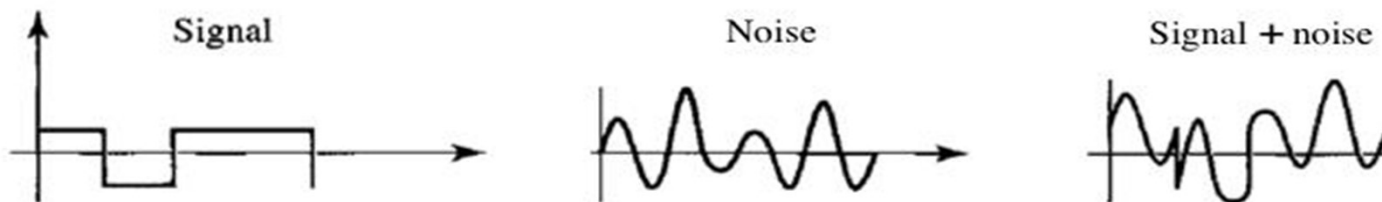
Los tipos de ruido más comunes son:

- ✓ **Ruido térmico o ruido blanco:** se debe a la agitación de los electrones dentro del conductor
- ✓ **Diafonía:** se debe al acoplamiento entre líneas o señales cercanas
- ✓ **Ruido impulsivo o electromagnético:** se genera por perturbaciones electromagnéticas exteriores (tormentas, líneas de alta tensión, fallos en el sistema de comunicación, etc.)

Ejemplo 1: Relación señal/ruido **alta**



Ejemplo 2: Relación señal/ruido **baja**



Capa de enlace

Capa de enlace: funciones

Los protocolos de la capa de enlace son **responsables** de:

➤ **Enramado**

- Construir tramas de datos según el formato específico del protocolo

➤ **Direccionamiento**, identificar a cada host en el enlace

- ¿De qué estación procede la trama?
- ¿A qué estación o estaciones va dirigida la trama?

➤ Ofrecer servicios de comunicación a las capas superiores

○ **Servicios orientados a conexión y fiables**

- Control de errores: Se detectan y descartan las tramas erróneas. Todas las tramas perdidas o erróneas se retransmiten
- Control de flujo: controlar el flujo de transmisión para evitar que el emisor pueda saturar a un receptor más lento

○ **Servicios sin conexión**, no fiables

- La arquitectura TCP/IP sobre red Ethernet utiliza estos servicios

➤ **Control de acceso al medio**

- para evitar o resolver el problema de las colisiones cuando dos o más estaciones acceden de forma simultánea al un medio compartido

Capa de enlace: Protocolos y estándares

Marco de referencia: IEEE 802

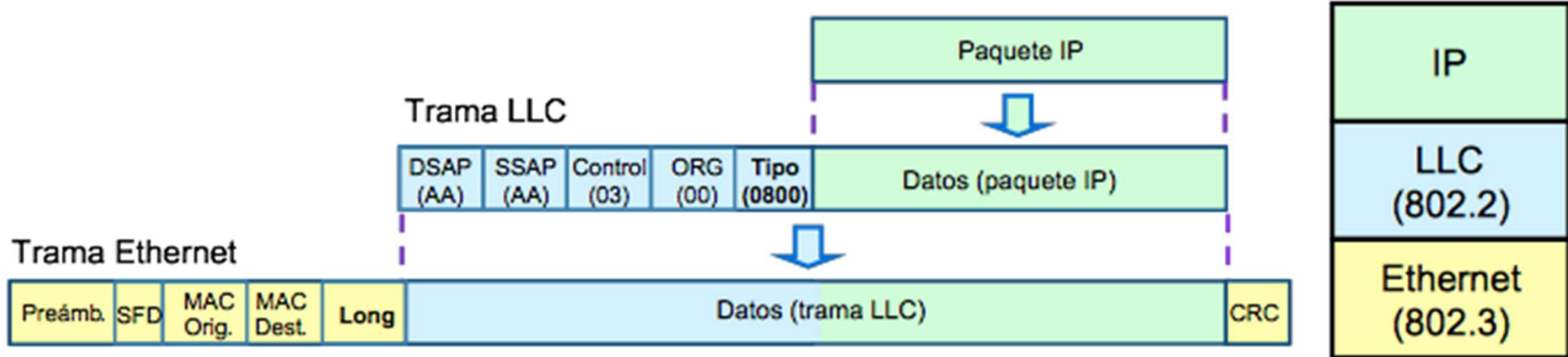
- **Control de enlace lógico (LLC, Logical Link Control)**
 - Interfaz con las capas superiores
 - Control de errores y flujo si las capas superiores lo demandan
- **Control de acceso al medio (MAC, Media Access Control)**
 - Ensamblado y desensamblado de tramas con campos de dirección
 - Control de acceso al medio de transmisión LAN

| | | | | | | | | |
|--------|--|--|------------------------------|--|---|----------------------------|--|---|
| 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 | |

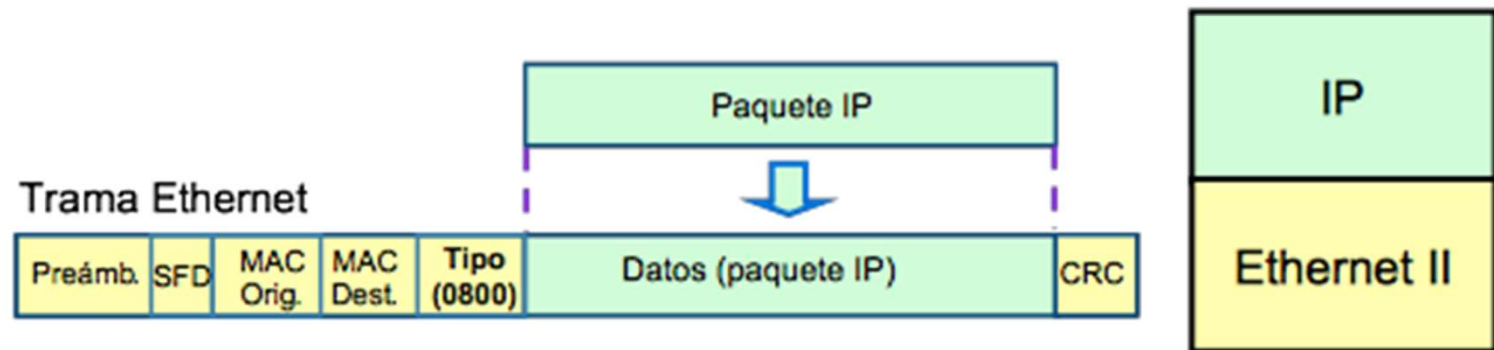
Capa de enlace: Protocolos y estándares

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

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

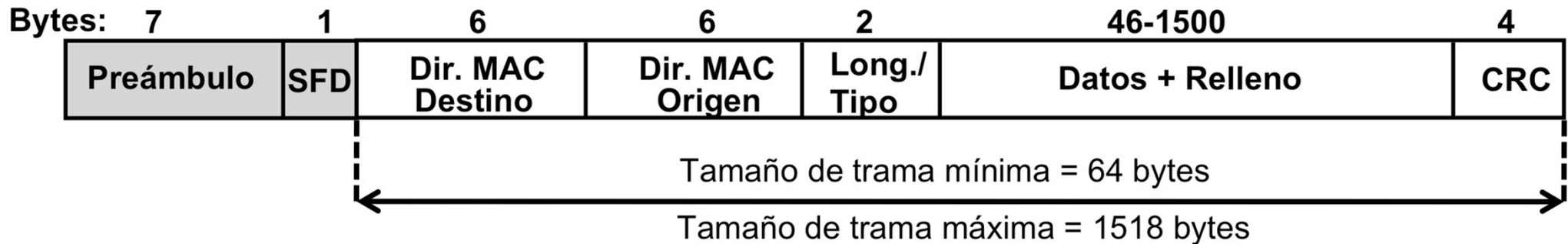


- Encapsulado de IP sobre Ethernet II



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

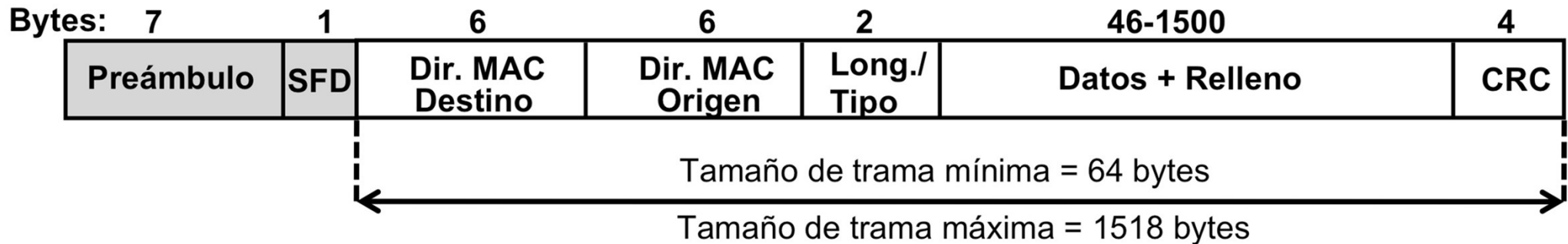
Ethernet: Formato de la Trama



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

Ethernet: Formato de la Trama



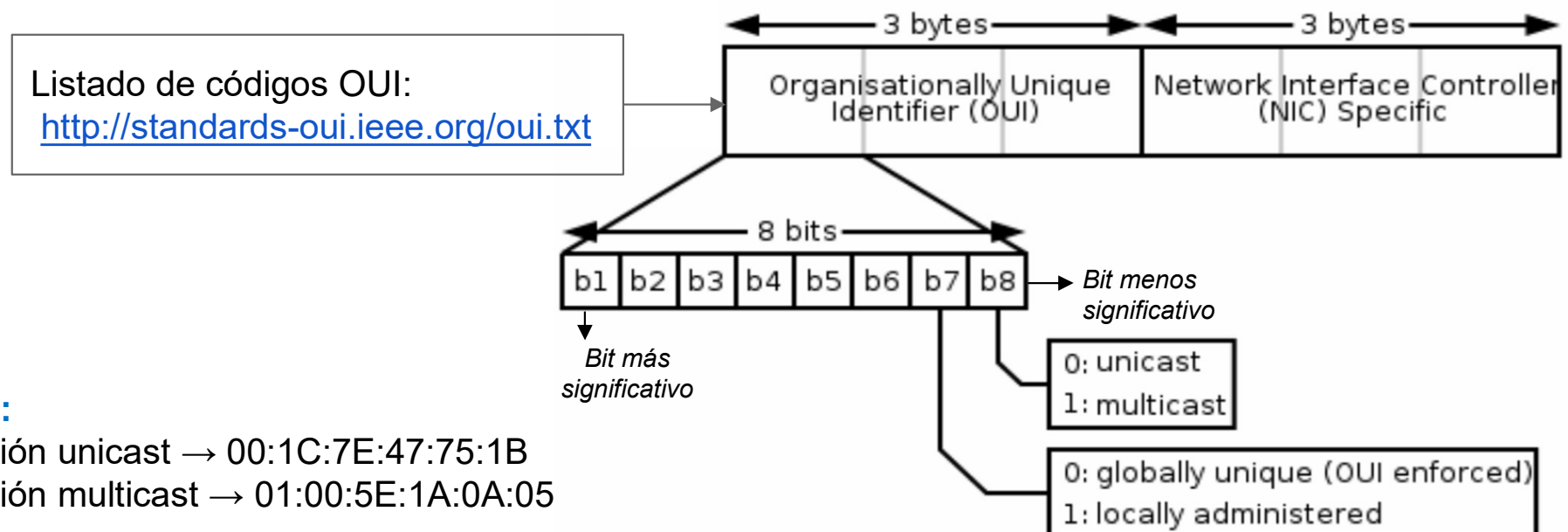
- **Direcciones MAC** origen y destino (6 bytes)
 - Identifican a la estación origen y destinataria(s) de la trama
- **Campo Longitud/Tipo** (2 bytes)
 - En el estándar 802.3: campo Longitud (valor ≤ 1500)
 - Indica la longitud del campo de datos
 - En Ethernet II: campo Tipo (valor > 1500)
 - Indica el tipo de protocolo de la capa superior al que van dirigidos los datos (Ejm: IP (0x0800) ARP (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
- **CRC** (4 bytes): Código para detectar errores de transmisión **de los bits de la trama**

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

- Pueden ser de tres tipos:
 - Individual (unicast): Hace referencia a una única estación
 - Normalmente, esta dirección está grabada en la tarjeta de red
 - Grupo (multicast): Grupo de máquinas en la red local
 - Difusión (broadcast): Todas los hosts (FF:FF:FF:FF:FF:FF)
- Se escriben en hexadecimal, separando cada byte con :



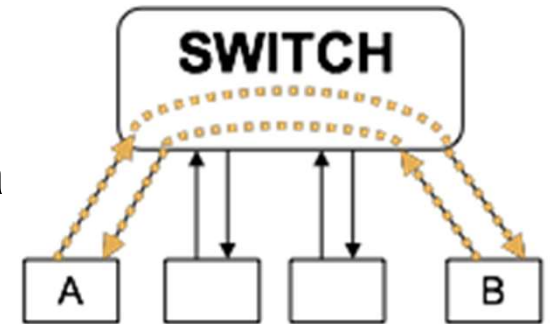
Ejemplos:

- Dirección unicast → 00:1C:7E:47:75:1B
- Dirección multicast → 01:00:5E:1A:0A:05

Ethernet: Elementos de Red (Switch)

Switch

- Dispositivo conmutador
- Retransmite la información solo por la salida adecuada
- Libre de colisiones, el enlace no se comparte
- Transmisión **full-duplex**



- **Switch de almacenamiento y reenvío (*store-and-forward*)**
 - Ventajas
 - Realizar la comprobación de errores y descartar tramas erróneas
 - Adaptar diferentes velocidades de transmisión
 - Desventajas
 - Introduce retardos adicionales por el procesamiento extra
- **Switch de truncamiento (*cut-through*)**
 - Ventajas
 - Menores retardos, ya que no almacena la trama
 - Desventajas
 - Puede reenviar tramas erróneas
 - Dificultad para interconectar dispositivos de distintas velocidades

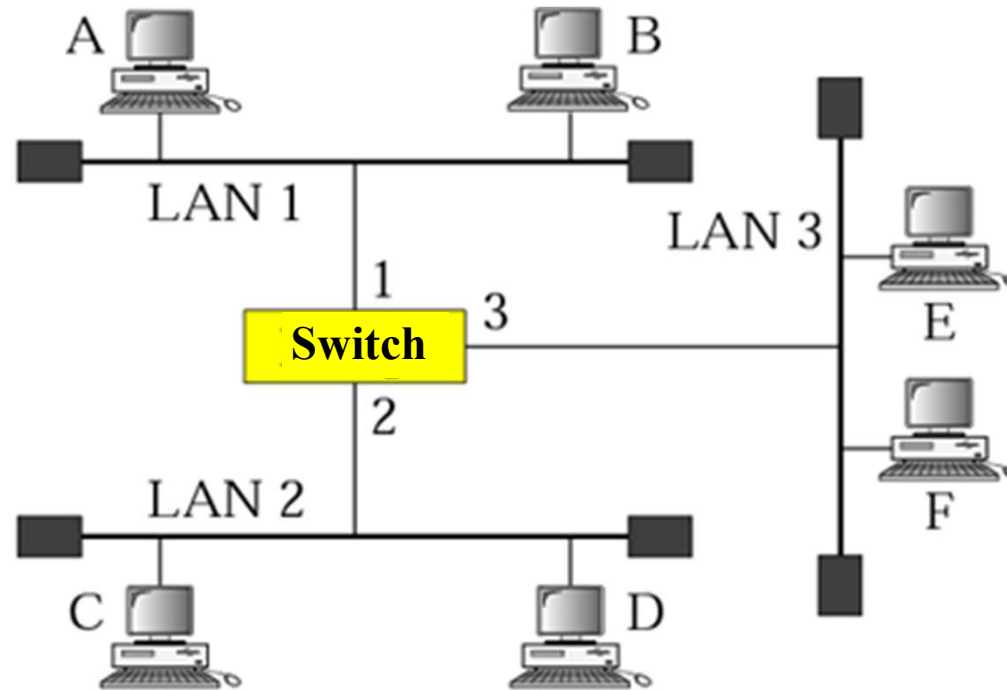
Ethernet: Elementos de Red (Switch)

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 va **creando 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

Ethernet: Elementos de Red (Switch)

- Ejemplo Funcionamiento de los switches



| Dir. MAC | Puerto |
|----------|--------|
| | |

Vacía

| Dir. MAC | Puerto |
|----------|--------|
| A | 1 |

Después de que A envíe una trama a D

| Dir. MAC | Puerto |
|----------|--------|
| A | 1 |
| E | 3 |

Después de que E envíe una trama a A

| Dir. MAC | Puerto |
|----------|--------|
| A | 1 |
| E | 3 |
| B | 1 |

Después de que B envíe una trama a C

Redes LAN inalámbricas: WiFi

➤ Tipos de redes WiFi soportados

- Con infraestructura
- Sin infraestructura (ad-hoc)

➤ Necesidad de protocolos de control y gestión de acceso al medio por ser un medio compartido (espacio de radio-frecuencia)

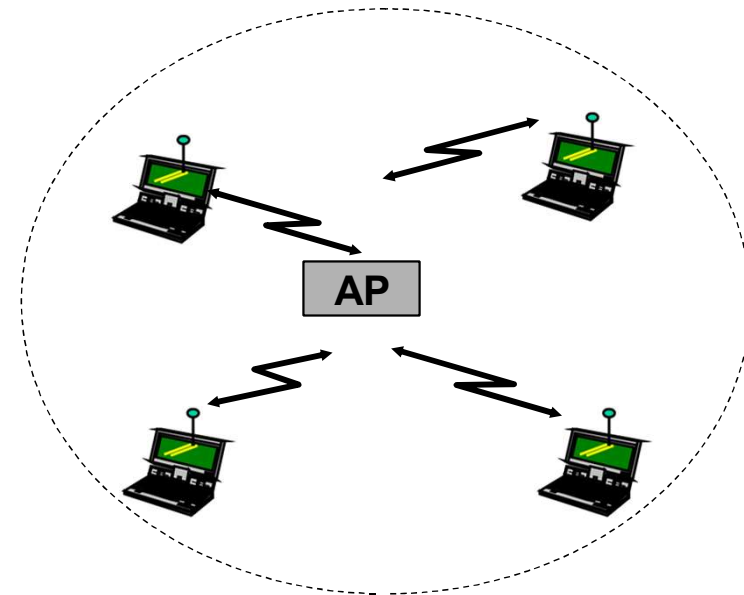
➤ Formato de trama (estándar 802.11)

Redes LAN inalámbricas: WiFi (802.11)

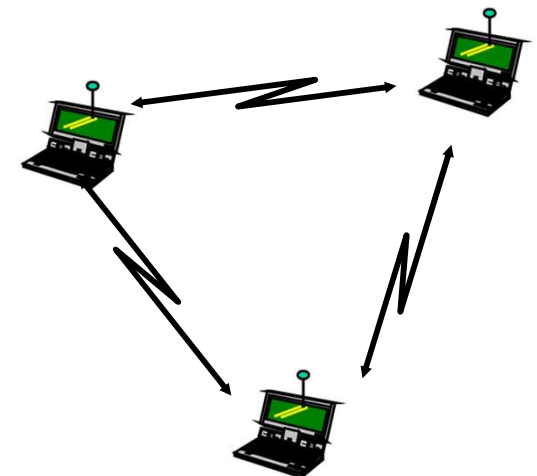
Tipos de redes WiFi

- 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)

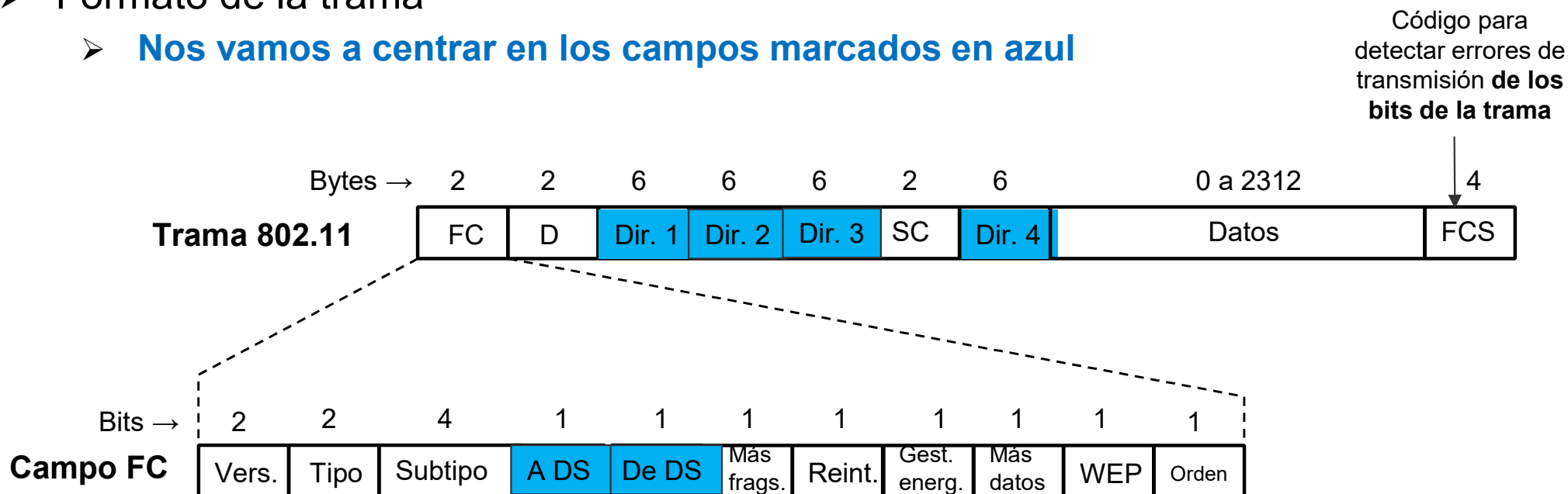


WiFi: Formato de la trama 802.11

- Tipos de tramas 802.11
 - Tramas de datos
 - Tramas de control
 - Tramas de gestión
 - Por ejemplo las tramas de solicitud de asociación al AP

➤ Formato de la trama

- **Nos vamos a centrar en los campos marcados en azul**



WiFi: Formato de la trama 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:** para distinguir las tramas dentro de un tipo
 - **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:** indica si a continuación irá otro fragmento de la trama
 - **Reintento:** indica si la trama es la retransmisión de una trama previa
 - **Gestión de energía:** indica si la estación se pondrá en el modo de ahorro de energía o 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
 - **Orden:** indica si las tramas recibidas deben ser procesadas en orden
- **Campo D:** Indica -en microsegundos- cuánto tiempo ocuparán el medio la trama
- **Campo SC:** Control de secuencia
- **Campos de Dirección 1 a 4**

WiFi: Formato de la trama 802.11

■ Campos de Dirección 1 a 4

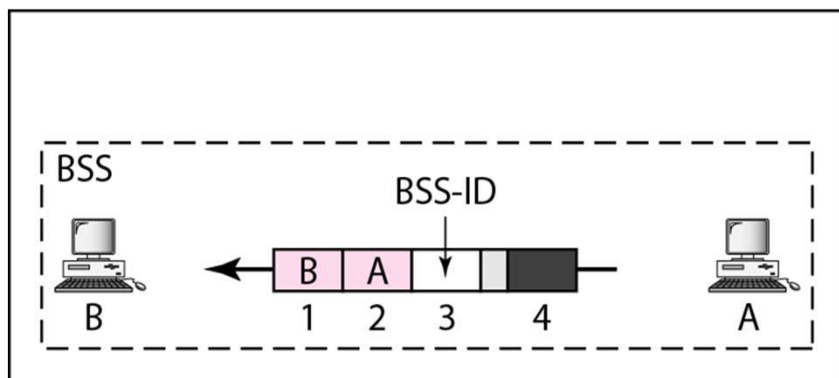
- **A DS=1** indica que la trama se dirige a un sistema de distribución (DS)
- **De DS=1** indica que la trama proviene de un sistema de distribución (DS)
- Estos valores determinan el papel de las cuatro direcciones de la cabecera de la trama

| 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 |

WiFi: Formato de la trama

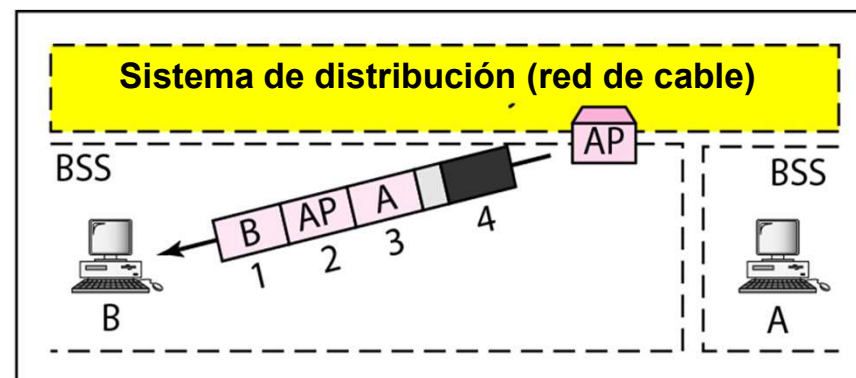
Ejemplo:

| 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 |



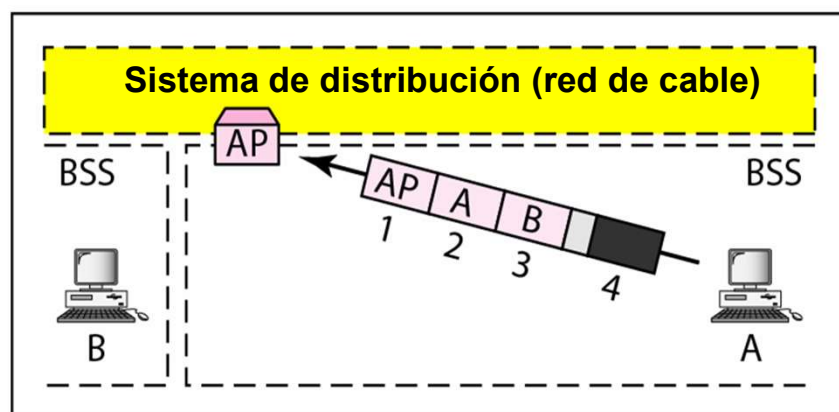
a) La trama va de una estación origen a otra estación destino sin pasar por un AP

A DS= 0 De DS=0



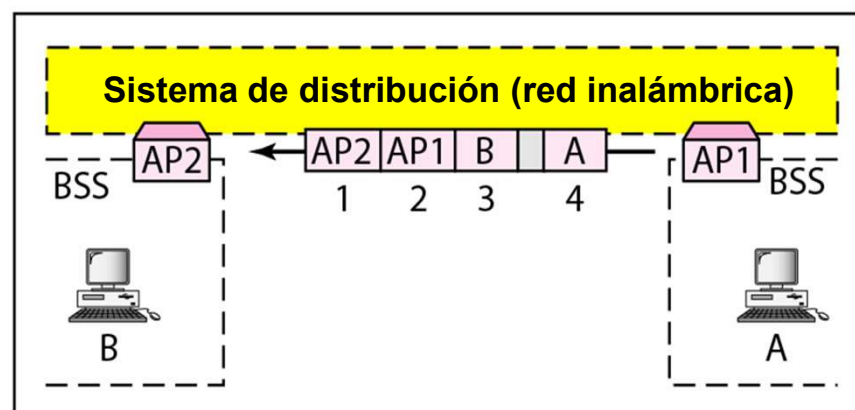
b) La trama procede de un AP y va dirigida a una estación

A DS= 0 De DS=1



c) La trama procede de una estación y va dirigida a un AP

A DS= 1 De DS=0



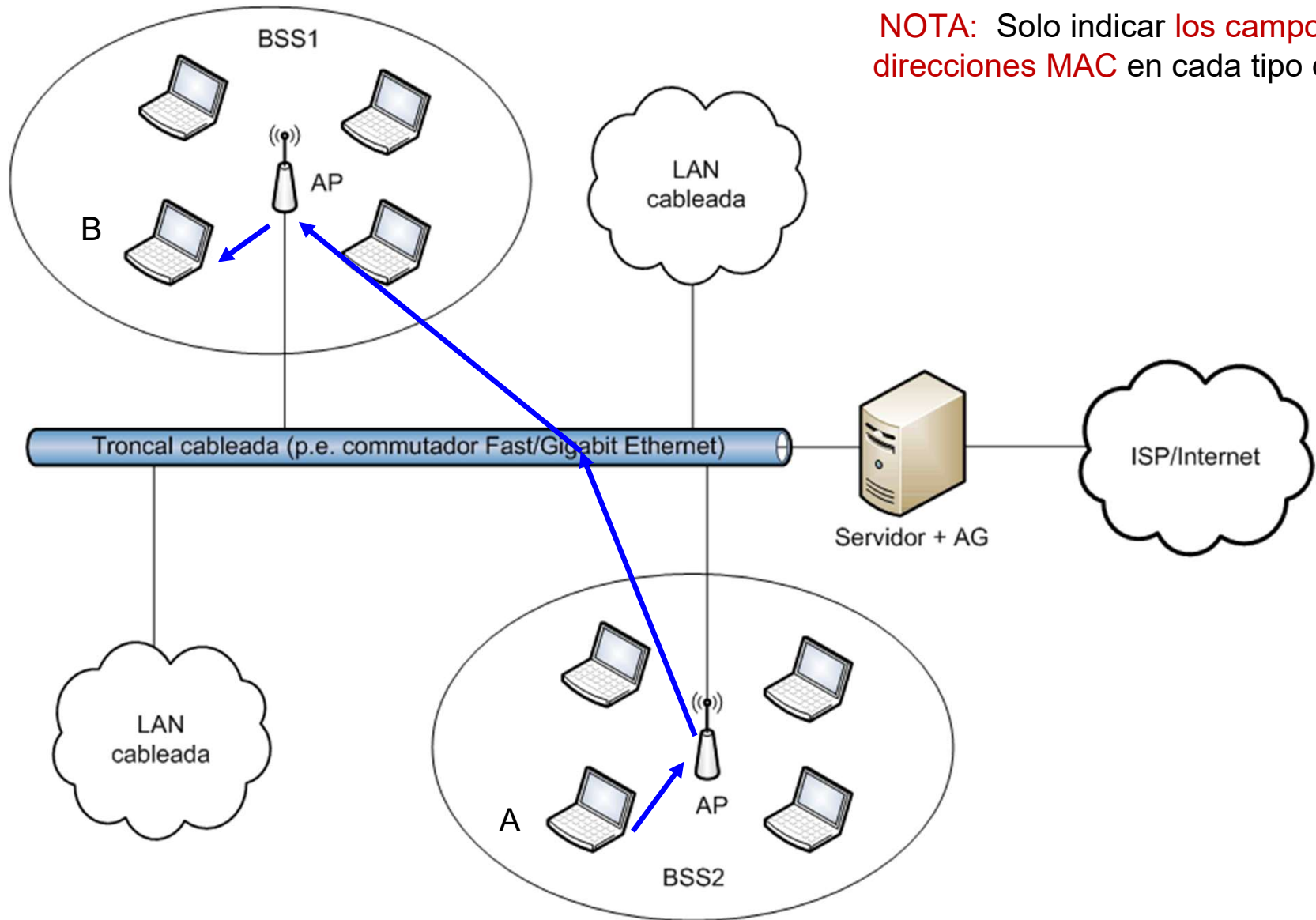
d) La trama va de un AP a otro AP a través de un sistema de distribución inalámbrico

A DS= 1 De DS=1

Redes LAN Ethernet-WiFi

Ejemplo: **Dada la siguiente interconexión de redes Ethernet-WiFi**

¿Qué tramas viajan en una transmisión desde el host A al host B?



NOTA: Solo indicar los campos de las direcciones MAC en cada tipo de trama

Redes LAN Ethernet-WiFi

En las tramas solo vamos a poner los campos A DS, De DS y de las direcciones

Solución: Tramas en una transmisión desde el host A (BSS2) al host B (BSS1)

- A envía una trama al AP (BSS2): **Trama WiFi**

| A DS | De DS | Dir1 | Dir2 | Dir3 | Dir4 | |
|------|-------|-----------|------|------|----------|-----|
| 1 | 0 | AP (BSS2) | A | B | No usado | ... |

- AP (BSS2) envía una trama al AP (BSS1) a través del conmutador Ethernet:
Trama Ethernet

| MAC destino | MAC origen | |
|-------------|------------|-----|
| B | A | ... |

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

| A DS | De DS | Dir1 | Dir2 | Dir3 | Dir4 | |
|------|-------|------|-----------|------|----------|-----|
| 0 | 1 | B | AP (BSS1) | A | No usado | ... |