



# Tema 2: Capa de Enlace

## 2ª PARTE: Funciones de la capa de enlace.

Redes de Computadores  
Grado en Ingeniería Informática


Mercedes Rodríguez García

# Índice

1. Dispositivos de capa 2
2. Funciones de la capa de enlace
  - 2.1. Entramado
  - 2.2. Direccionamiento físico
  - 2.3. Control de acceso al medio
    - 2.3.1. Paso de token
    - 2.3.2. CSMA/CD
    - 2.3.3. CSMA/CA
  - 2.4. Otras funciones
3. PoE

# 1. Dispositivos de la capa de enlace



**Switch** (conmutador) 



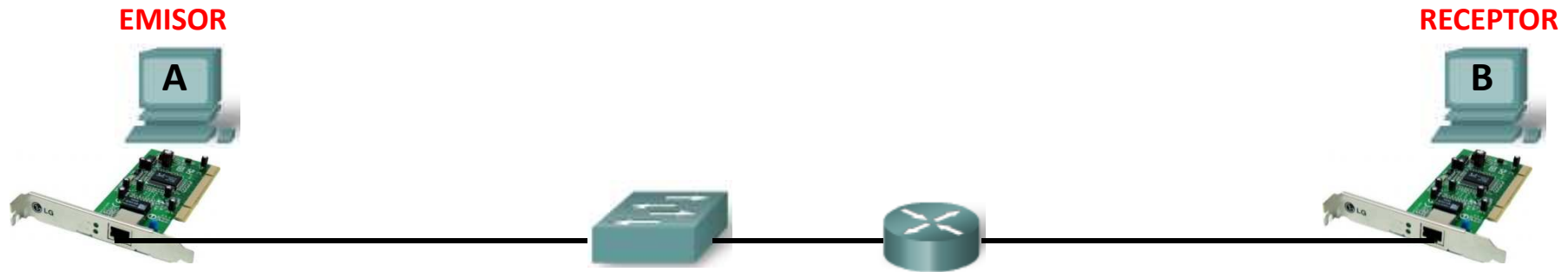
**Punto de acceso**



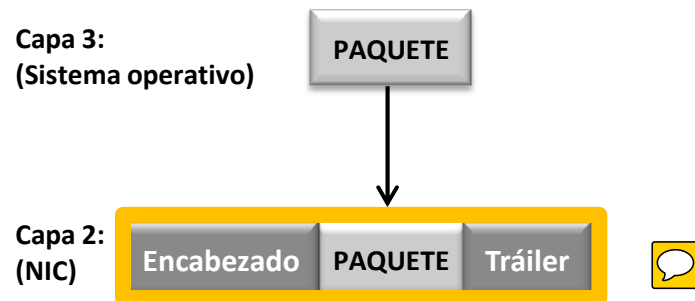
**Tarjeta de interfaz de red (Network Interface Card -NIC-)**

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado

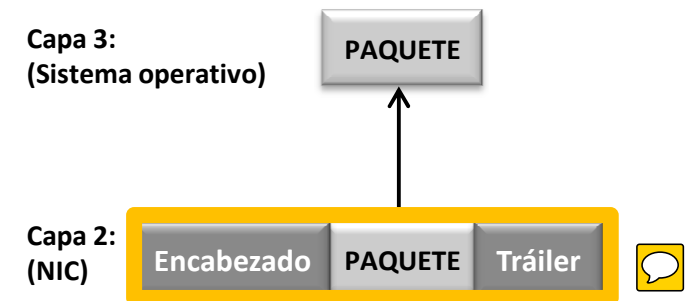


¿Qué ocurre en la NIC del host A?



En **A**, la capa 2 se encarga de encapsular los paquetes (o datagramas) que vienen de la capa 3 para formar las tramas.

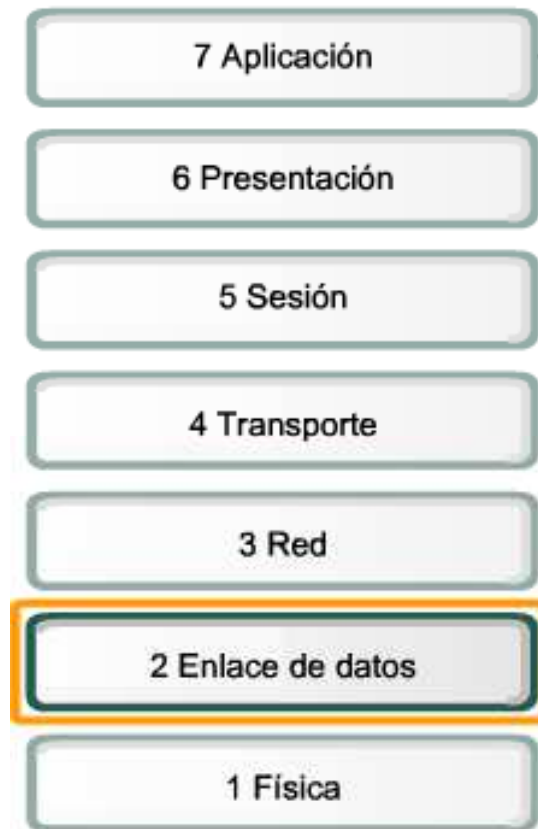
¿Qué ocurre en la NIC del host B?



En **B**, la capa 2 se encarga de desencapsular las tramas para proporcionar los paquetes (o datagramas) a la capa 3.

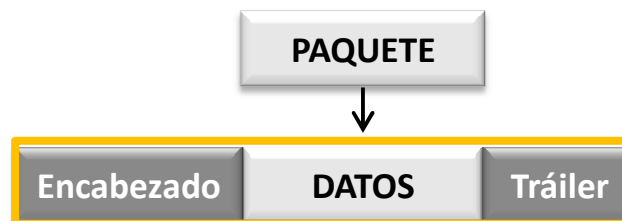
## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado



La trama tiene tres partes:

- **Encabezado**
- **Datos:** es la PDU de capa 3 (paquete o datagrama)
- **Tráiler**

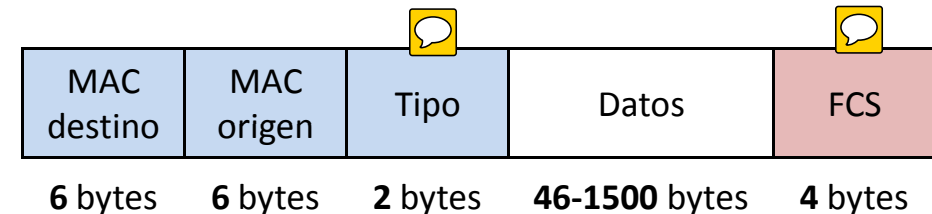


## 2. Funciones de la capa de enlace

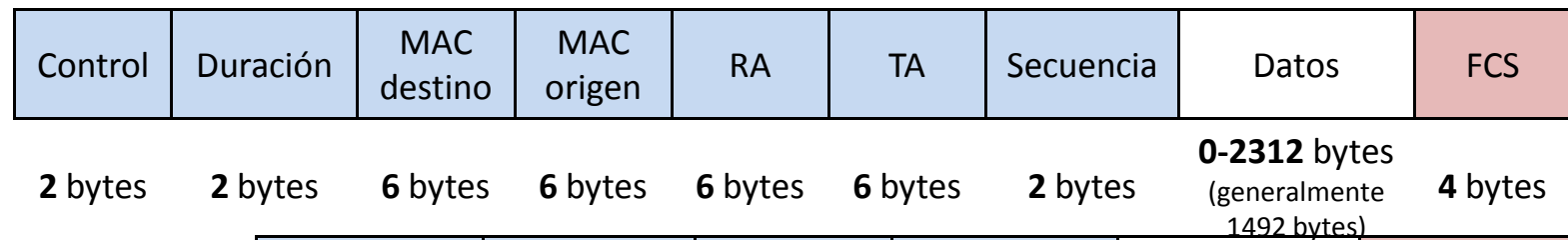
### 2.1. Entramado

Los campos del encabezado, el tráiler y la longitud min/max de la trama varían de un estándar/protocolo de capa 2 a otro. Se puede decir que cada estándar/protocolo de capa 2 tiene un formato de trama propio.

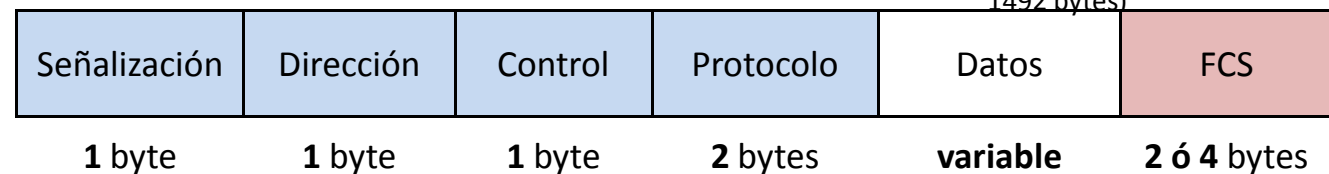
Estándar 802.3 **Ethernet**



Estándar 802.11  
**Wi-Fi**



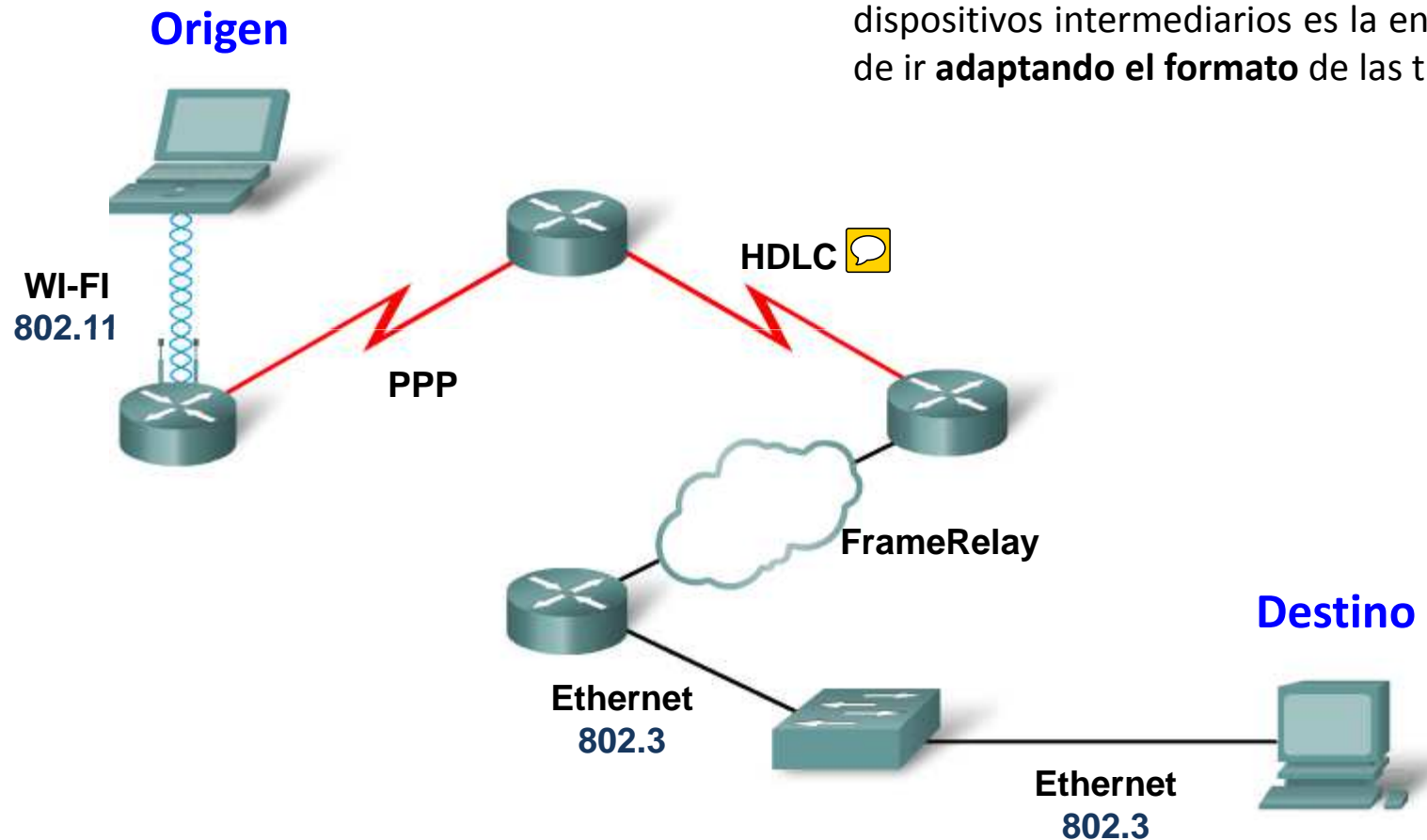
Protocolo **PPP**



## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado

Cuando en la ruta hay que saltar de una tecnología de red a otra, la capa 2 de los dispositivos intermediarios es la encargada de ir **adaptando el formato** de las tramas.



## 2. Funciones de la capa de enlace

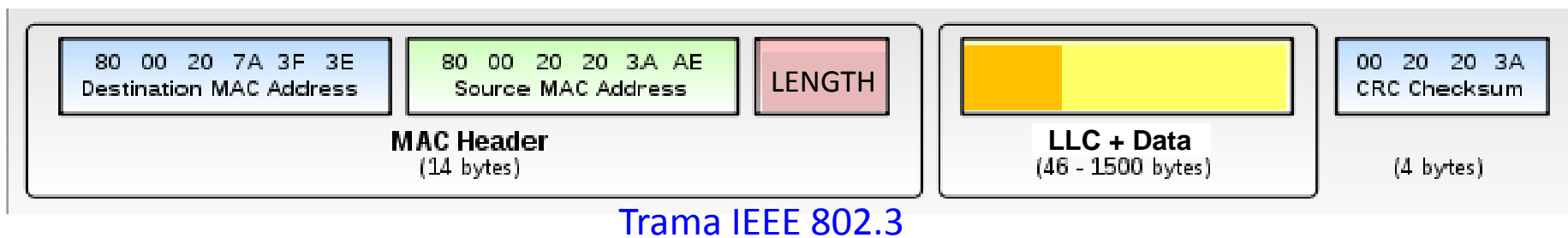
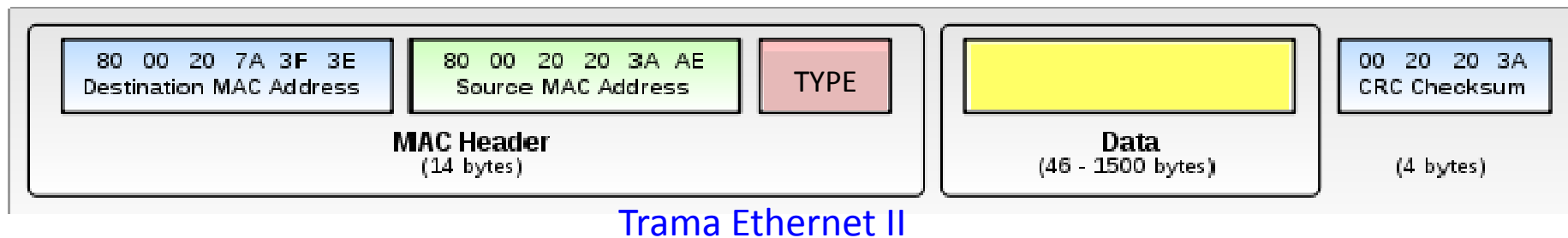
### 2.1. Entramado

En Ethernet, los formatos de tramas más importantes son:

- Trama Ethernet II (año 1978)
- Trama IEEE 802.3 (año 1983)

La más utilizada actualmente es Ethernet II.

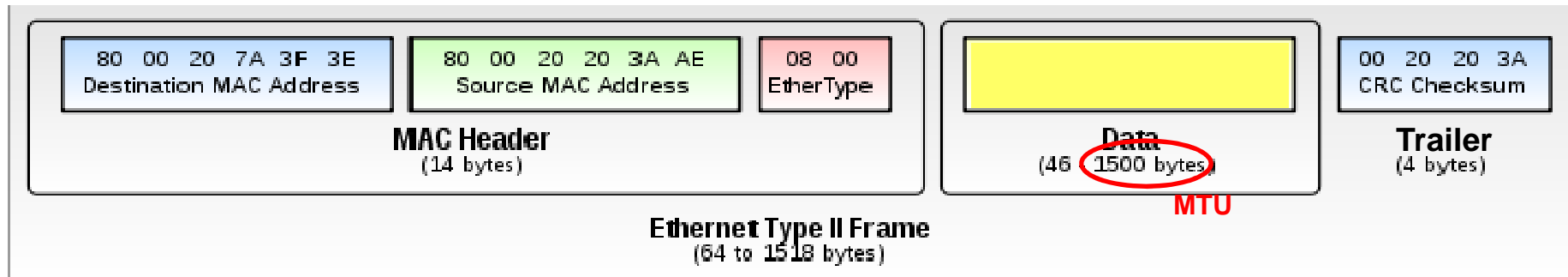
Más información: [http://wiki.wireshark.org/Ethernet?action=show&redirect=Protocols%2Feth](http://wiki.wireshark.org/Ethernet?action=show&redirect=Protocols%2Fethernet)





## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado

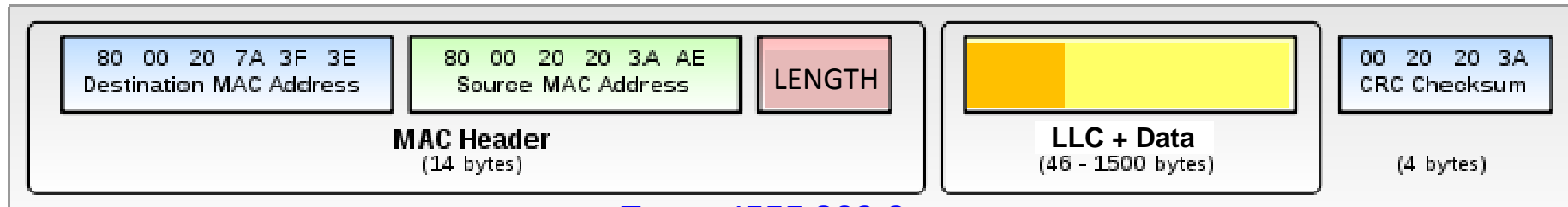


Fuente imagen: [http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet\\_frame](http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_frame)

- **Type:** indica qué protocolo de la capa de red recibirá los datos después de la desencapsulación. Un host puede utilizar varios protocolos de red al mismo tiempo: IPv4, IPv6, IPX, etc. Por tanto, cuando un equipo recibe una trama, el sistema operativo debe saber a qué protocolo de capa de red entregar el paquete (el código 0x0800 está asociado al protocolo IPv4).
- **Data:** contiene la PDU de capa 3 (el paquete o datagrama). Al tamaño máximo de este campo se le denomina unidad de transferencia máxima (**MTU**), en Ethernet es **1500 bytes**. Si el paquete supera los 1500 bytes, será fragmentado por la capa de red en paquetes más pequeños. Por el contrario, si el paquete tiene menos de 46 bytes, se incluirán bits de relleno en la trama.
- **CRC o FCS** (secuencia de verificación de trama): utilizado para detectar errores en la trama. Actualmente se utiliza el método CRC-32.

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado

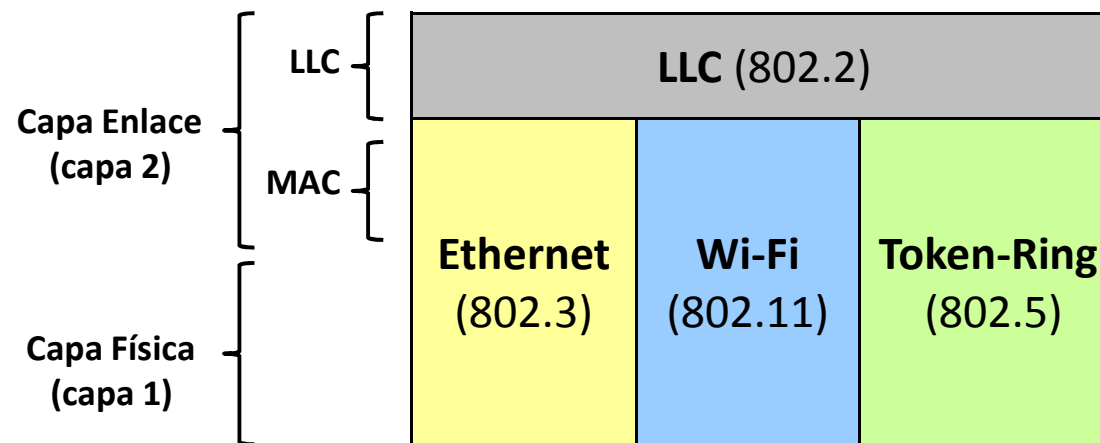


Trama IEEE 802.3

- **¿Qué es LLC?:** En la trama 802.3, IEEE estableció que el tipo del protocolo de capa 3 y otros datos de servicio irían en un encabezado adicional denominado LLC (Control de Enlace Lógico) perteneciente a la capa 2. El encabezado LLC se sitúa dentro del campo datos de la trama. LLC está definido en el estándar IEEE 802.2.
- **LLC también está presente en Wi-Fi y Token Ring**

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado

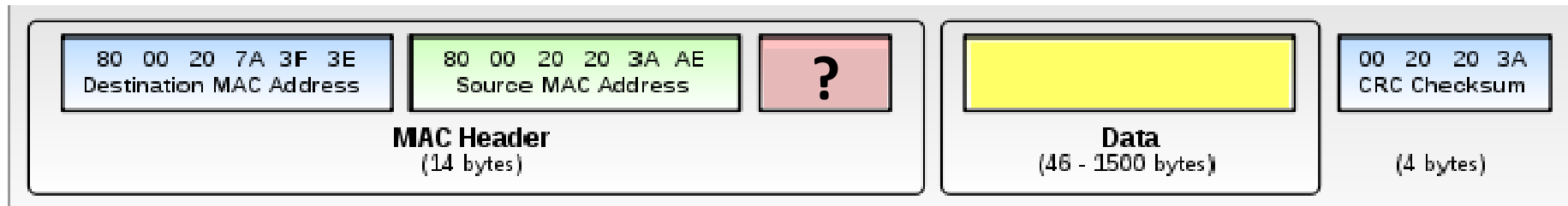


Como consecuencia, IEEE divide la capa 2 en dos subcapas:

- **LLC** (Control de Enlace Lógico).
- **MAC** (Control de acceso al medio): depende de la tecnología de red.

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado

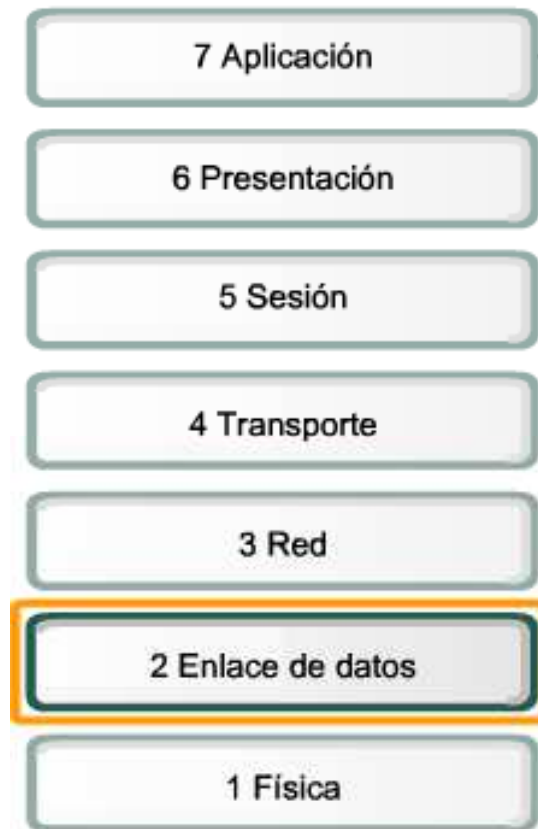


¿Hoy en día que se utiliza el formato de trama Ethernet II o el formato IEEE 802.3?

- Si  $? \leq 0x0600$ , la trama es IEEE 802.3 (el campo ? registra la longitud y a continuación le sigue la cabecera LLC (802.2))
- Si  $? > 0x0600$ , la trama es Ethernet II (el campo ? registra el tipo y a continuación le siguen los datos)

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado

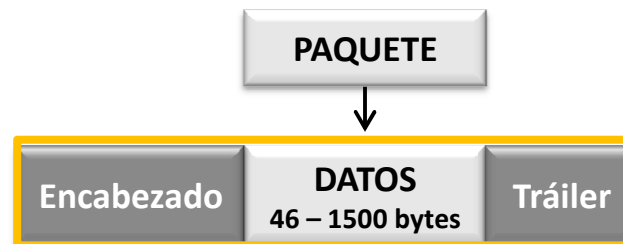


En Ethernet,

**MTU**

Si paquete > 1500 bytes → La capa 3 lo fragmenta

Si paquete < 46 bytes → La capa 2 añade bits de relleno



## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.1. Entramado



¿Alguna vez has tenido este  
problema?

<http://ocubom.wordpress.com/2011/01/10/cambiar-la-mtu-de-la-conexion-wifi-en-windows-7/>



## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.2. Direccionamiento Físico

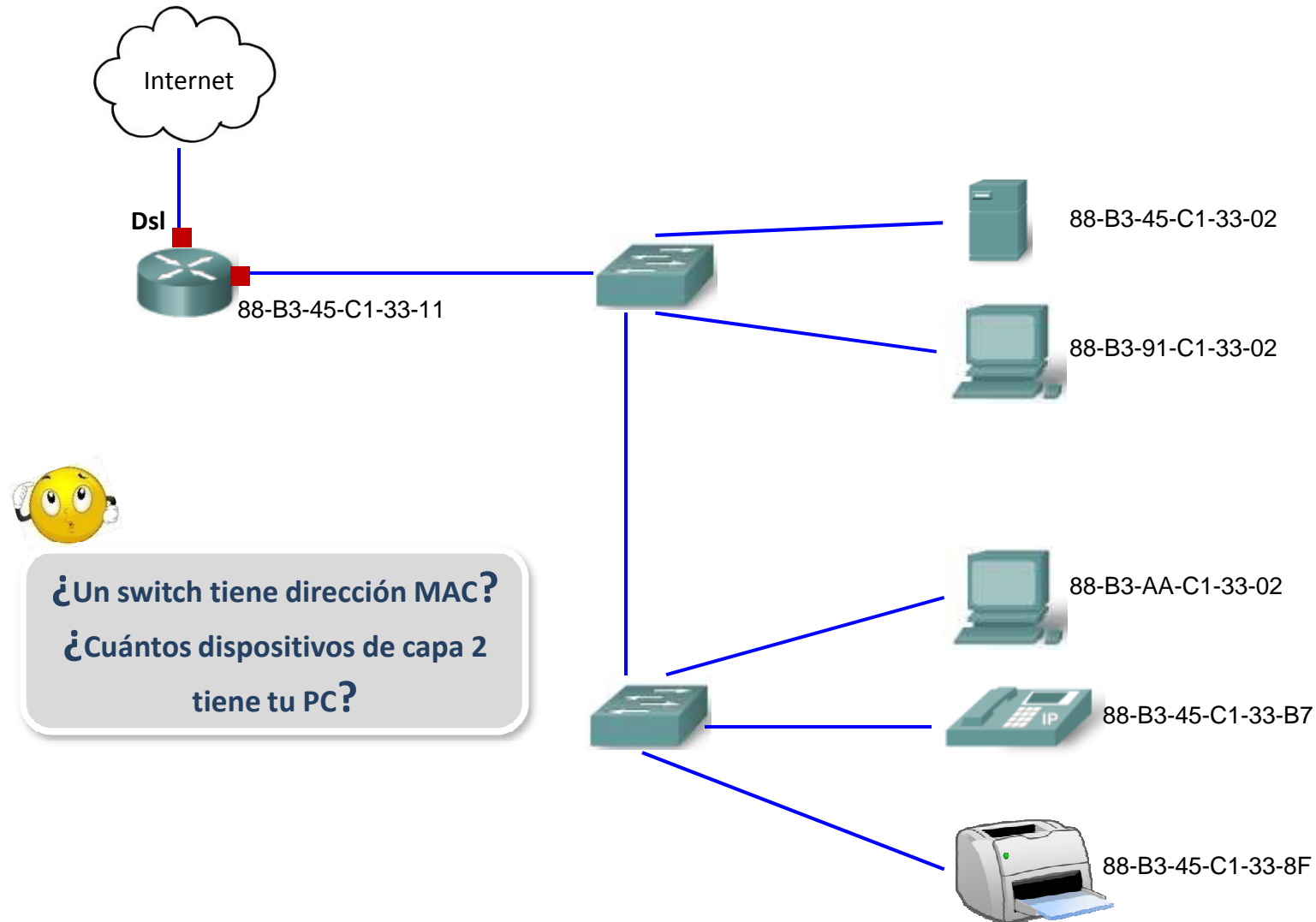
Todos los dispositivos de capa 2 tienen una dirección física única.

En las tecnologías LAN, como **Ethernet, Wi-Fi y Token-Ring**, la dirección física se denomina dirección de Control de Acceso al Medio (**dirección MAC**). Características de la MAC:

- Tiene 48 bits: A3-47-1C-30-F1-49
- Los 24 bits más significativos son asignados por IEEE e identifican el fabricante (este identificador es el OUI -organizationally unique identifier-)  
Para saber más sobre OUI: [http://es.wikipedia.org/wiki/Organizationally\\_unique\\_identifier](http://es.wikipedia.org/wiki/Organizationally_unique_identifier)  
Para consultar la lista de OUI: <http://standards.ieee.org/develop/regauth/oui/oui.txt>  
Para consultar una OUI: <http://standards.ieee.org/develop/regauth/oui/public.html>
- Los 24 bits menos significativos identifican el dispositivo dentro del fabricante.
- Se graba en el hardware del dispositivo durante su fabricación.

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.2. Direccionamiento Físico





## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.2. Direccionamiento Físico

**Dirección MAC Unicast**  
para identificar UN equipo



01111000

78

A1

00

24

3E

F3

**Dirección MAC Multicast**  
para identificar un  
CONJUNTO de equipos

00000001

01

A1

00

24

3E

F3

**Dirección MAC Broadcast**  
para identificar a TODOS  
los equipos de la subred

FF

FF

FF

FF

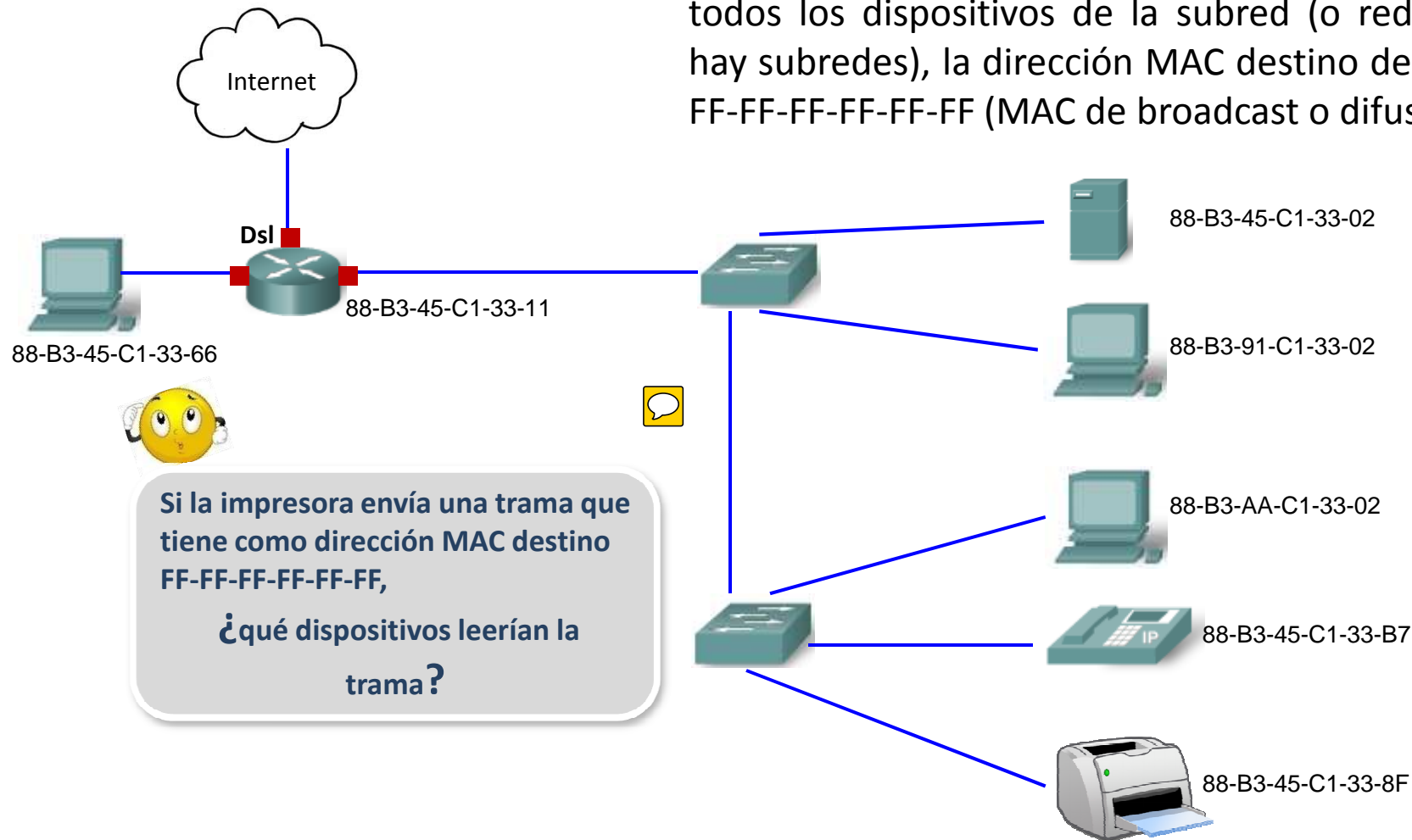
FF

FF

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.2. Direccionamiento Físico

Cuando un dispositivo quiere comunicarse con todos los dispositivos de la subred (o red si no hay subredes), la dirección MAC destino debe ser FF-FF-FF-FF-FF-FF (MAC de broadcast o difusión).



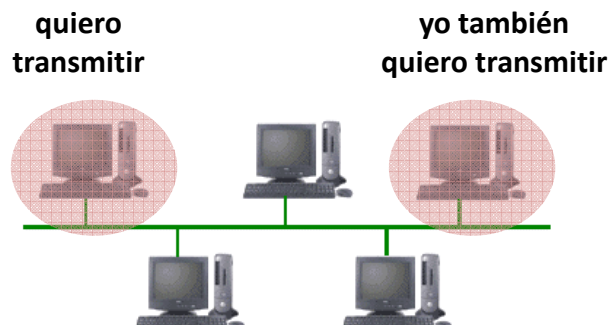
Si la impresora envía una trama que tiene como dirección MAC destino FF-FF-FF-FF-FF-FF, ¿qué dispositivos leerían la trama?

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.3. Control de Acceso al Medio

Cuando un medio es compartido por varios dispositivos, hay que establecer una política para determinar **qué dispositivo puede transmitir en un momento dado**.

La regulación para acceder al medio es conocida como control de acceso al medio.

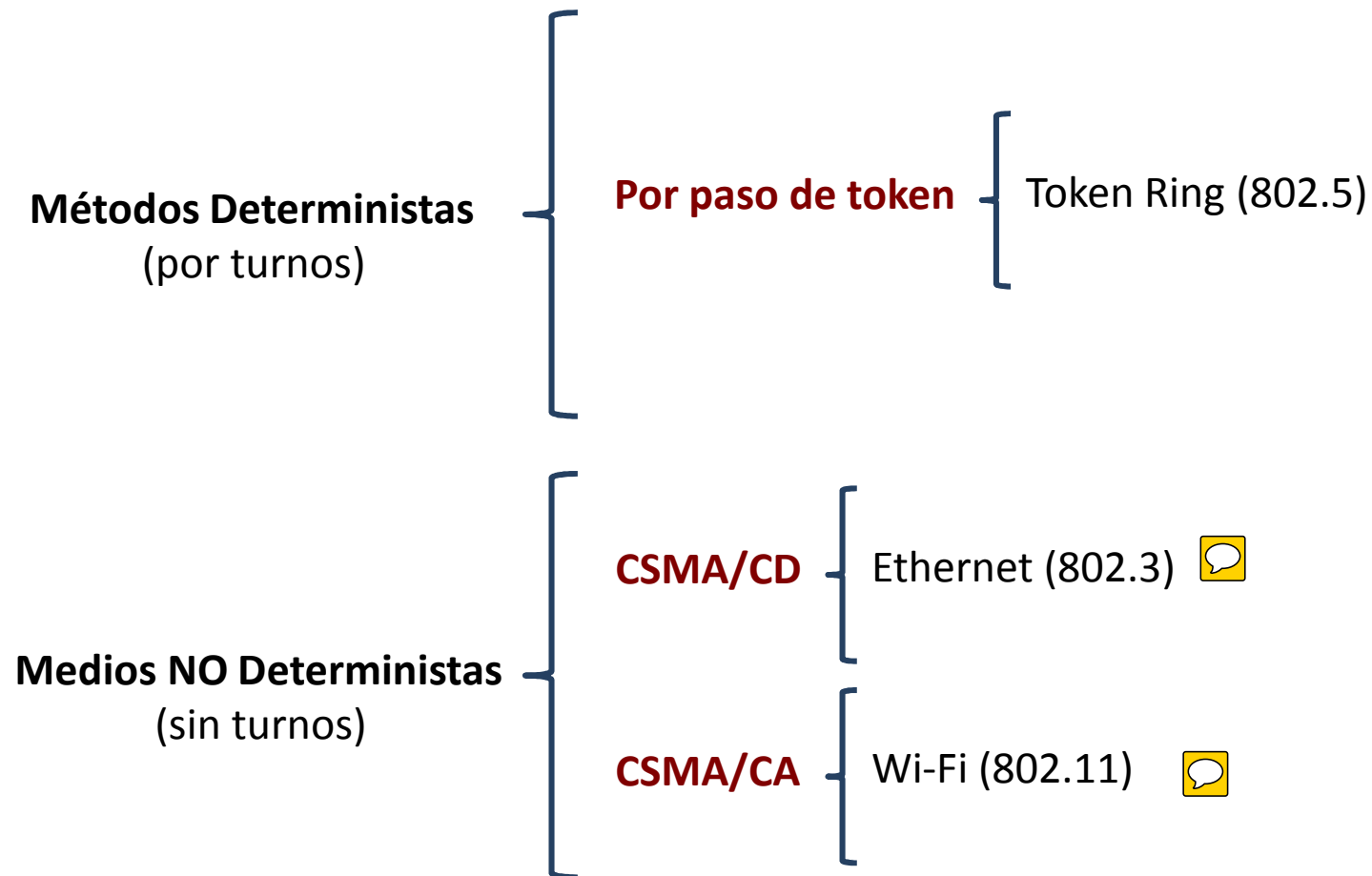


Si no se lleva a cabo ningún control de acceso al medio y varios dispositivos quieren transmitir al mismo tiempo se producirán **colisiones** (choques de tramas).

Las colisiones ocasionan tramas dañadas que deben volver a enviarse.

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.3. Control de Acceso al Medio



## 2. Funciones de la capa de enlace

## 2.3. Control de Acceso al Medio

### 2.3.1 Paso de Token

Utilizado en redes **Token-Ring** (802.5).

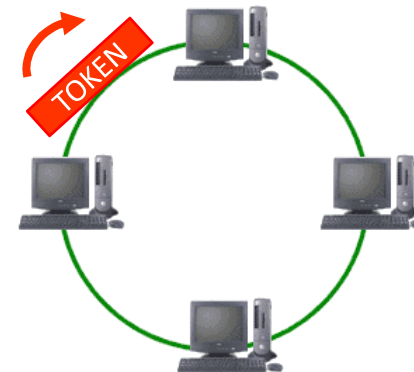
El acceso al medio es **por turnos**: un dispositivo tiene que esperar su turno para poder transmitir.

Por la red circula en un único sentido un paquete especial llamado **token** (testigo).

Cuando un dispositivo recibe el token, significa que es su turno y puede transmitir. Si no desea transmitir, debe pasar el token al siguiente dispositivo del anillo.

No hay colisiones.

Puede ser ineficiente porque un dispositivo tiene que esperar su turno antes de poder utilizar el medio.



## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.3. Control de Acceso al Medio

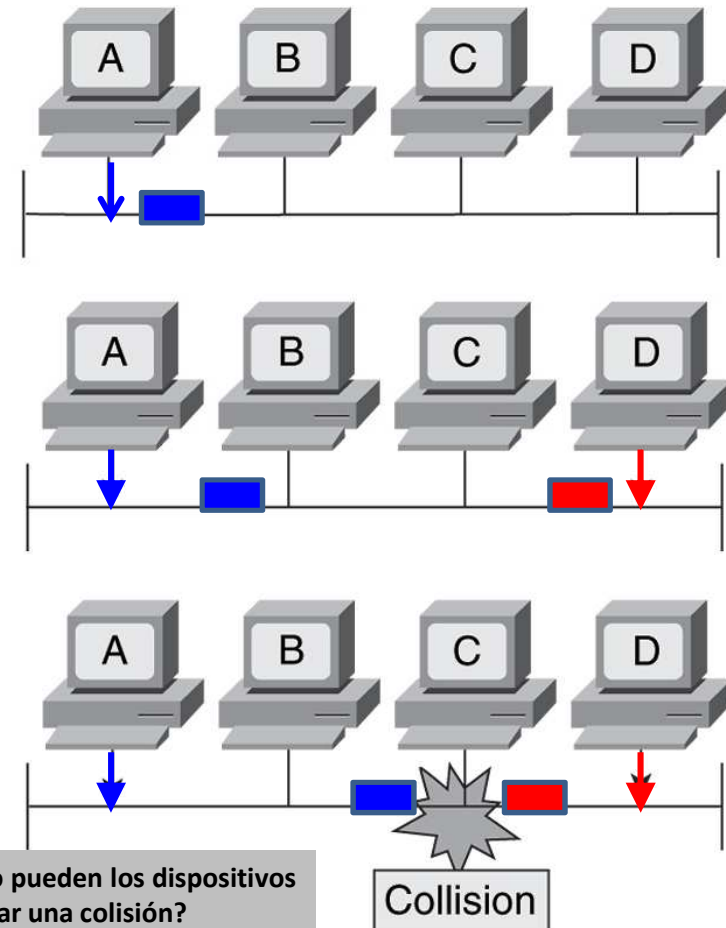
#### 2.3.2 CSMA/CD

Utilizado en redes **Ethernet** (802.3).

Cuando un dispositivo **A** quiere enviar datos, debe comprobar si el medio está ocupado (**CS** (*Carrier Sense*) = detección de portadora). Si está libre, transmite. Si está ocupado, espera a que quede libre.

Como las señales eléctricas necesitan un tiempo para llegar al otro extremo del cable (retardo de propagación), es posible que un host **D** alejado piense que el medio esté libre y comience a transmitir.

Para solucionar este problema, los dispositivos **A** y **D** siguen “escuchando el medio” por si se produce una colisión (**CD** (*Collision Detection*) = detección de colisión). ¿Cuánto tiempo deben permanecer a la escucha? En Ethernet 100BaseT, lo que dure la transmisión de los primeros 64 bytes de la trama.



¿Cómo pueden los dispositivos detectar una colisión?  
Pueden detectarla porque la amplitud de la señal aumenta.

Fuente imagen:  
<http://www.networkworld.com/redesign08/subnets/cisco/053008-ch1-ccna-prep-library.html?page=10>

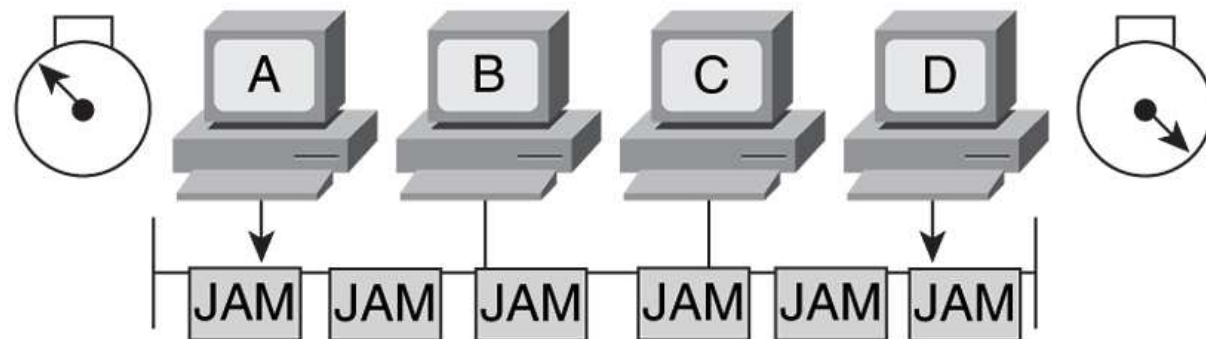
## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.3. Control de Acceso al Medio

#### 2.3.2 CSMA/CD

Si se produce una colisión,

1. El primer dispositivo que detecte la colisión (p.e. **D**) aborta la transmisión.
2. **D** avisa de la colisión al resto de equipos emitiendo una trama jam.
3. Todos los hosts que estaban transmitiendo (en el ejemplo, los hosts **A** y **D**) se detienen y esperan un tiempo aleatorio antes de volver a intentar la transmisión.



## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.3. Control de Acceso al Medio

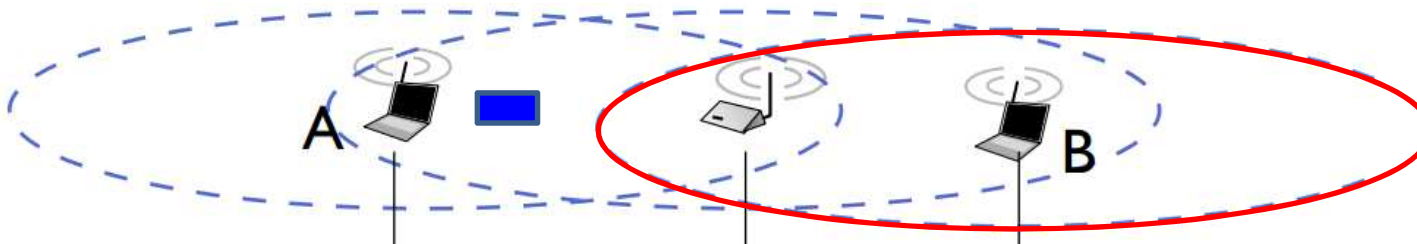
#### 2.3.3 CSMA/CA

Utilizado en redes **Wi-Fi** (802.11).



**Dificultad para detectar colisiones.**- En los medios inalámbricos también se pueden producir colisiones, pero existen dificultades para detectarlas: la señal se atenúa muy rápido y es difícil contrastar lo enviado con lo recibido.

**Dificultad para detectar si el medio está ocupado.**- Problema de los terminales ocultos.



**Terminales ocultos.**- El dispositivo A está transmitiendo (trama azul). El dispositivo B escucha el medio (celda marcada en rojo, B solo puede escuchar en su radio de alcance) como está libre comienza transmitir. Sin embargo, ya hay una trama en circulación.



## 2. Funciones de la capa de enlace

## 2.3. Control de Acceso al Medio

### 2.3.3 CSMA/CA

Solución:

El dispositivo “escucha el medio”. Si el medio permanece libre durante un tiempo determinado (DIFS -Distributed Inter Frame Space-), entonces el dispositivo comienza a transmitir.

Si el medio está ocupado, el dispositivo espera un tiempo aleatorio antes de transmitir.

En cualquier caso, el receptor está obligado a confirmar las tramas que recibe con **acuses de recibo (ACK)**. Si el emisor no recibe confirmación, vuelve a enviar la trama.



Otras funciones de la capa 2:

- Entrega fiable (p.e. en 802.11).
- Detección de errores (utilizando el CRC-32 del tráiler).
- Control de flujo.

Estas funciones de la capa de enlace (**CAPA 2**) tienen un fuerte **paralelismo** con las funciones proporcionadas por la capa de transporte (**CAPA 4**):

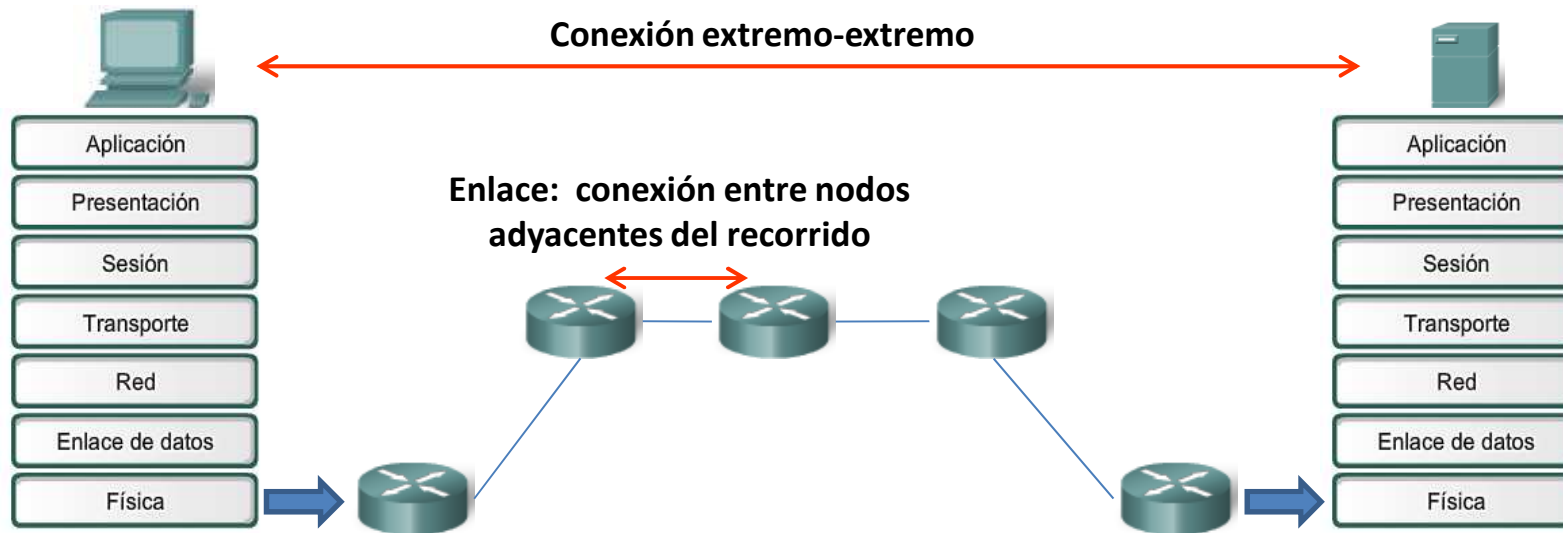
- Las dos capas pueden proporcionar entrega fiable.
- Las dos capas pueden proporcionar detección de errores.
- Las dos capas pueden proporcionar control de flujo.

## 2. Funciones de la capa de enlace

### 2.4. Otras funciones

DIFERENCIA:

- La capa de transporte (**capa 4**) proporciona estas funciones a nivel de conexión extremo-extremo.
- La capa de enlace (**capa 2**) proporciona estas funciones a nivel de enlace.



Entrega fiable.- Garantiza la entrega de la trama al nodo adyacente. Suele implementarse mediante reconocimientos (ACKs) y retransmisiones. De forma similar, pero no idéntica, al servicio de entrega fiable de la capa de transporte (TCP).

No todas tecnologías de red garantizan la entrega.

La entrega fiable **SÍ** se utiliza en enlaces que presentan **alta tasa de error**, p.e. enlaces inalámbricos (redes Wi-Fi). Objetivo: corregir los errores localmente, en lugar de obligar al protocolo de la capa de transporte (si es TCP) o de aplicación (si es UDP) que realice la retransmisión de datos extremo a extremo.

La entrega fiable **NO** se utiliza en enlaces que presentan **baja tasa de error**, p.e. enlaces cableados (redes Ethernet). Motivo: se considera una sobrecarga innecesaria.

Detección de errores.- El método utilizado es **CRC** (Comprobación de Redundancia Cíclica) basado en aritmética polinómica.

1. El emisor calcula el CRC sobre los bits de la trama y lo introduce en el campo FCS del tráiler.
2. Cuando la trama llega al receptor, éste también calcula el CRC.
3. El receptor compara los dos CRC (CRC calculado por él y CRC del tráiler).
  - **Si son iguales**, no hay error → desencapsula y envía el paquete a la capa 3.
  - **Si son distintos**, hay error → descarta la trama.

**Errores no detectados.**- A veces, hay errores que se cancelan entre sí al calcular el CRC. En este caso, la capa 2 considera que la trama es correcta y protocolos de capas superiores detectarán el error.

**Los errores** de bits en la transmisión se producen principalmente por **ruido o atenuación de la señal**.

### 3. PoE



¿Qué es PoE?



¿Cuál es su estándar?



¿Qué equipos necesitamos para implantarlo en nuestra red? Existen diferentes opciones, procura explicarlas todas. Busca un switch que soporte esta característica.

