

# Práctica 9 - Capa de Enlace

1. ¿Qué función cumple la capa de enlace? Indique qué servicios presta esta capa.

2. Compare los servicios de la capa de enlace con los de la capa de transporte.

## 1. Ámbito de la Comunicación (Alcance)

Característica	Capa de Enlace (Capa 2)	Capa de Transporte (Capa 4)
<b>Alcance</b>	<b>Comunicación lógica entre nodos adyacentes</b> a través de un único enlace.	<b>Comunicación lógica entre procesos</b> de aplicación que se ejecutan en hosts diferentes (comunicación terminal a terminal o <i>end-to-end</i> ).
<b>PDU (Unidad de datos)</b>	Trama (Marco).	Segmento (general) o Datagrama (UDP).
<b>Implementación</b>	Se implementa en <b>hosts, routers, switches y puntos de acceso WiFi</b> (nodos). Los routers procesan hasta la Capa 3 (Red), mientras que los switches de enlace procesan hasta la Capa 2.	Reside <b>únicamente en los sistemas terminales (hosts)</b> . Los routers intermedios no actúan sobre la información de la capa de transporte.

## 2. Servicios de Direccionamiento

Capa de Enlace (Capa 2)	Capa de Transporte (Capa 4)
Utiliza <b>Direcciones MAC</b> (Media Access Control) o direcciones físicas.	Utiliza <b>Números de Puerto</b> (Ports).
Las direcciones MAC se asignan a los <b>adaptadores</b> (interfaces de red).	Los números de puerto identifican de manera única los <b>procesos</b> o sockets de la aplicación en el host de destino.
El Protocolo de Resolución de Direcciones ( <b>ARP</b> ) se utiliza para traducir direcciones IP (Capa 3) a direcciones MAC (Capa 2).	La principal responsabilidad de la Capa de Transporte (UDP/TCP) es ampliar la entrega de IP (host-a-host) a la entrega entre procesos ( <i>process-to-process</i> ), lo que se logra mediante la <b>Multiplexación y Demultiplexación</b> .

## 3. Servicios de Transferencia y Confiabilidad

Ambas capas pueden ofrecer un servicio de transferencia de datos fiable, pero su naturaleza y alcance son distintos.

Capa de Enlace

- **Entrega Fiable (Opcional):** Algunos protocolos de la Capa de Enlace garantizan que cada datagrama se transporte a través del enlace sin errores, implementando confirmaciones y

retransmisiones (similar a ARQ). Este servicio se usa a menudo en enlaces con altas tasas de error (como los inalámbricos) para corregir errores **localmente**.

- **Transferencia No Fiable:** Muchos protocolos de enlace para enlaces cableados (como Ethernet) **no proporcionan** un servicio de entrega fiable, ya que se considera una sobrecarga innecesaria debido a la baja tasa de errores de bit en estos medios.

- **Detección de Errores:** Se utilizan técnicas para detectar y, a veces, corregir errores de bit (p. ej., CRC o sumas de comprobación). La detección de errores en esta capa se implementa típicamente en **hardware** (adaptadores de red).

Capa de Transporte (TCP/UDP)

- **TCP (Protocolo de Control de Transmisión):** Proporciona una **Transferencia de Datos Fiable**. TCP garantiza que los datos sean entregados al proceso receptor **correctamente y en orden**, convirtiendo el servicio no fiable de IP en un servicio fiable de transporte. Esto se logra mediante mecanismos como números de secuencia, reconocimientos (ACK), y temporizadores.

- **UDP (Protocolo de Datagramas de Usuario):** Ofrece un servicio **sin conexión no fiable** ("haz lo que puedas"). Los segmentos UDP pueden perderse o ser entregados fuera de orden.

- **Detección de Errores:** UDP y TCP proporcionan servicios de comprobación de la integridad de los datos mediante campos de detección de errores (sumas de comprobación) en sus cabeceras. La suma de comprobación de la capa de transporte se implementa generalmente por **software**.

#### 4. Control de la Tasa de Transmisión

Capa de Enlace (Capa 2)	Capa de Transporte (Capa 4)
<b>Acceso al Medio (MAC):</b> Protocolos como CSMA/CD (en Ethernet antigua) o CSMA/CA (en 802.11) se utilizan para coordinar la transmisión en canales de difusión compartidos, evitando colisiones o gestionando el acceso.	<b>Control de Flujo (TCP):</b> Mecanismo que permite al receptor controlar la tasa a la que le envía datos el transmisor, previniendo el desbordamiento del búfer del receptor (adaptación de la velocidad del emisor a la capacidad de lectura del receptor).
<b>División de Dominios de Colisión:</b> Dispositivos como los switches (conmutadores) ayudan a segmentar la red, eliminando las colisiones y permitiendo que los distintos enlaces operen a velocidades diferentes (enlaces heterogéneos).	<b>Control de Congestión (TCP):</b> Mecanismo para regular la velocidad de transmisión del emisor, basándose en el estado de la red (pérdida de paquetes, retardos), para evitar que la conexión <b>inunde los enlaces y routers intermedios</b> . Este control es terminal a terminal.

#### 5. Gestión de la Conexión

Capa de Enlace (Capa 2)	Capa de Transporte (Capa 4)
Generalmente es un servicio <b>sin conexión</b> .	<b>TCP es orientado a la conexión:</b> Requiere un procedimiento de negociación (p. ej., el proceso de acuerdo en tres fases) antes de que los procesos puedan comenzar a transferir datos.
	<b>UDP es sin conexión.</b>

### 3. Direccionamiento Ethernet:

#### ■ ¿Cómo se identifican dos máquinas en una red Ethernet?

Dos máquinas (o más precisamente, sus interfaces de red) se identifican en una red Ethernet mediante un tipo de dirección específica de la capa de enlace.

Cuando un adaptador desea enviar una trama a otro adaptador de destino a través de una red LAN, inserta la **dirección MAC** del adaptador de destino en la trama.

En el contexto de la pila de protocolos de Internet, las direcciones de la capa de enlace (direcciones **MAC**) son distintas de las direcciones de la capa de red (direcciones **IP**). De hecho, para que las capas sean lo más independientes posible, cada capa necesita su propio esquema de direccionamiento.

#### ■ ¿Cómo se llaman y qué características poseen estas direcciones?

Estas direcciones se conocen como **direcciones de la capa de enlace, direcciones LAN, direcciones físicas** o, más comúnmente, **direcciones MAC** (Media Access Control).

Las características de estas direcciones, especialmente en las redes LAN (incluidas Ethernet y 802.11), son:

1. **Longitud:** Tienen **6 bytes de longitud** (48 bits), lo que permite  $2^{48}$  direcciones posibles **MAC**.
2. **Asignación:** Las direcciones se asignan a los **adaptadores** (interfaces de red) de los *hosts* y *routers*.
3. **Unicidad:** Están administradas por el IEEE y se consideran (en teoría) **globalmente únicas**.
4. **Uso:** Son utilizadas por los *switches* de la capa de enlace para reenviar tramas. El reenvío se basa en estas direcciones **MAC**, no en las direcciones **IP**.
5. **Relación con IP:** Es necesario un mecanismo, el **Protocolo de resolución de direcciones (ARP)**, para traducir las direcciones **IP** en las correspondientes direcciones **MAC**.

#### ■ ¿Cuál es la dirección de broadcast en la capa de enlace? ¿Qué función cumple?

La dirección de *broadcast* en la capa de enlace (Capa 2) para redes que utilizan direcciones de 6 bytes (como Ethernet) es una cadena compuesta por **48 unos (1) consecutivos**. En notación hexadecimal, esta dirección se representa como **FF-FF-FF-FF-FF-FF**.

##### **Función que cumple:**

La función de la dirección de *broadcast* es que **todos los demás adaptadores de la LAN reciban y procesen la trama**.

Un uso fundamental de la dirección de *broadcast* de la Capa 2 es durante el proceso de **resolución de direcciones (ARP)**:

- Cuando un host necesita la dirección **MAC** de otro nodo en la misma subred, envía un **paquete de consulta ARP** dirigido a la dirección de *broadcast* **MAC, FF-FF-FF-FF-FF-FF**.
- La trama que contiene la consulta **ARP** es recibida por todos los adaptadores de la subred.
- El nodo que posee la dirección **IP** consultada es el único que procesa el requerimiento y responde con un **mensaje ARP de respuesta** de forma *unicast*.

#### 4. Sobre los dispositivos de capa de enlace:

- Enumere dispositivos de capa de enlace y explique sus diferencias.

Los dispositivos de red comunes asociados con las redes de área local (LAN) y la interconexión de enlaces incluyen:

##### 1. Repetidor / Concentrador:

- **Función/Capa:** Operan en la capa física (Capa 1). Un **repetidor** es un amplificador digital de dos puertos que regenera la señal. Un **Hub** es un repetidor multipuerto.
- **Dominio de Colisión:** Un repetidor o un hub **extienden un dominio de colisión**, generando uno único.
- **Tipos de Hubs:** Pueden ser **pasivos** (solo envían la señal por todos los puertos restantes) o **activos** (regeneran la señal, ofreciendo mayor alcance).
- **Uso:** Se utilizaban en redes 10BaseT y 100BaseT.

##### 2. Puente / Interruptor:

- **Función/Capa:** Son dispositivos de conmutación de paquetes que operan en la capa de enlace (Capa 2). Reciben tramas de la capa de enlace entrantes y las reenvían a los enlaces de salida. Basan su decisión de reenvío en las **direcciones MAC**.
- **Reenvío y Filtrado:** Realizan funciones de filtrado (determinar si una trama debe descartarse) y reenvío (determinar a qué interfaces debe dirigirse) utilizando una tabla de conmutación.
- **Diferencias con Routers:** Un **switch** es fundamentalmente diferente de un router porque reenvía paquetes utilizando direcciones MAC (Capa 2), mientras que un router utiliza direcciones de la capa de red (Capa 3).

##### 3. Enrutador:

- **Función/Capa:** Es un dispositivo de conmutación de paquetes que opera en la Capa de Red (Capa 3), aunque implementa las capas 1, 2 y 3. Basa su decisión de reenvío en los valores de la cabecera del datagrama de la capa de red (direcciones IP).
- **Roles:** A diferencia de los switches, los *routers* utilizan algoritmos de enrutamiento (como RIP u OSPF) para determinar rutas.

- ¿Qué es una colisión?

Una **colisión** ocurre en un canal de difusión compartido cuando **más de dos nodos transmiten tramas al mismo tiempo**.

- **Resultado:** Cuando las tramas colisionan, todos los nodos receptores reciben varias tramas simultáneamente. Las señales de las tramas que han chocado se entremezclan y **ninguno de los nodos receptores puede interpretarlas**, por lo que **todas las tramas implicadas se pierden**.
- **Impacto:** El ancho de banda del canal de difusión se desperdicia durante el intervalo de colisión.
- **Dominio de Colisión:** Es el alcance hasta donde pueden extenderse las colisiones. Todas las estaciones en el mismo dominio de colisiones ven los datos transmitidos de cada una.

- ¿Qué dispositivos dividen dominios de broadcast?

Los dominios de *broadcast* son divididos por dispositivos que operan en capas superiores a la de enlace tradicional, o por mecanismos de virtualización:

1. **Routers:** Son la división tradicional del dominio de *broadcast*. Los routers se utilizan, por ejemplo, para proporcionar protección mediante *cortafuegos* frente a las tormentas de difusión de la Capa 2.
2. **Redes de Área Local Virtuales (VLAN):** Un *switch* compatible con VLAN permite definir múltiples redes de área local virtuales sobre una única infraestructura física. Cada VLAN es un **dominio de broadcast independiente**.

- ¿Qué dispositivos dividen dominios de colisión?

Los dispositivos que aíslan segmentos de red a nivel físico o lógico dividen los dominios de colisión, a diferencia de los repetidores o *hubs*, que los extienden o unen.

1. **Switches (Conmutadores de la capa de enlace):** Los switches **eliminan las colisiones** en una red LAN. Esto se logra porque aíslan un enlace de otro, almacenan las tramas en un *buffer* y nunca transmiten más de una trama a un segmento simultáneamente. El uso prevalente de Ethernet basado en *switches* significa que no se necesitan protocolos de acceso al medio como CSMA/CD, ya que no se producen colisiones.
2. **Routers:** Al operar en la Capa 3 e interconectar redes separadas (subredes), los routers también dividen los dominios de colisión.

## 5. ¿Para qué sirve el algoritmo de acceso al medio en Ethernet? ¿Es orientado a la conexión?

El algoritmo de acceso al medio, conocido como **CSMA/CD** (Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones), se utiliza en Ethernet para **coordinar las transmisiones de múltiples nodos** que comparten un mismo canal de difusión.

La **función principal** de este algoritmo es:

1. **Regulación de la Transmisión:** Especificar las reglas que los nodos (estaciones, adaptadores) deben seguir para transmitir una trama a través del enlace.
2. **Manejo de la Contención (Colisiones):** En entornos Ethernet donde el medio es compartido (como las topologías de bus originales o las redes basadas en *hubs*), se encarga de evitar y gestionar las colisiones.
  - El protocolo realiza **sondeo de portadora** (*carrier sense*): si el adaptador detecta que el canal está inactivo, comienza a transmitir. Si detecta que está ocupado, espera hasta que esté inactivo para transmitir.
  - El protocolo realiza **detección de colisiones** (*collision detection*): si se detecta una colisión durante la transmisión, el adaptador la aborta, envía una señal de *jam* y entra en la fase de *backoff* exponencial binario antes de intentar la retransmisión.

Es importante notar que, aunque CSMA/CD era vital para las topologías antiguas de Ethernet (bus o basadas en *hub*), en las redes LAN Ethernet modernas basadas en *switches* (conmutadores) **no se producen colisiones**, por lo que el protocolo MAC no es estrictamente necesario, ya que el *switch* coordina las transmisiones y opera en modo *full-duplex*.

#### **Ethernet no es orientado a la conexión.**

Las tecnologías Ethernet proporcionan un **servicio sin conexión** a la capa de red (Capa 3).

Las características de este servicio son:

1. **Sin Acuerdo Previo:** Cuando un adaptador desea enviar un datagrama a otro adaptador, encapsula el datagrama en una trama Ethernet y la envía a la red LAN **sin establecer previamente un acuerdo** con el adaptador receptor.
2. **No Fiable:** Ethernet proporciona un **servicio no fiable** a la capa de red. Esto se debe a que el adaptador receptor realiza una comprobación de redundancia cíclica (**CRC**) en la trama, pero si la trama falla la comprobación, simplemente la **descarta** y **no envía un mensaje de confirmación (ACK)** al emisor para informar sobre el estado de la entrega.

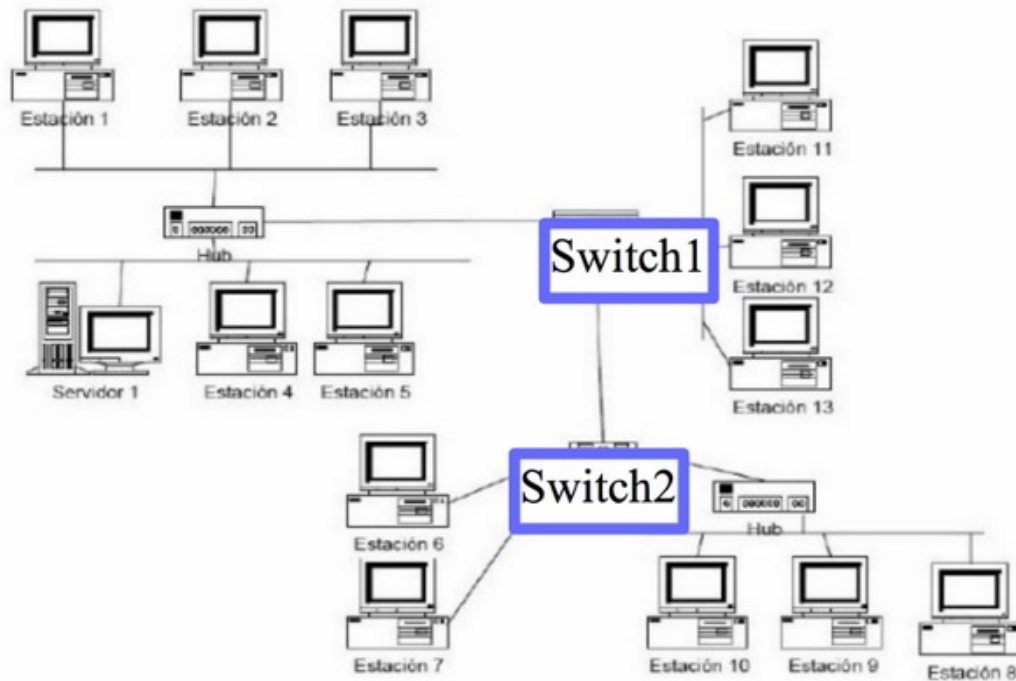
Este servicio sin conexión y no fiable de la Capa 2 es **análogo** al servicio de datagramas de IP (Capa 3) y al servicio sin conexión de UDP (Capa 4).

#### 6. ¿Cuál es la finalidad del protocolo ARP?

La finalidad principal del **Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP, Address Resolution Protocol)** es actuar como un protocolo auxiliar ("Helper") para IP, que permite **mapear o traducir direcciones lógicas (Direcciones IP) a direcciones de hardware (Direcciones MAC)**.

ARP es un mecanismo indispensable porque, en la pila de protocolos de Internet, los *hosts* y *routers* tienen direcciones en la capa de red (direcciones IP) y en la capa de enlace (direcciones MAC). Para que un nodo pueda enviar un mensaje a otro nodo en la misma subred, necesita conocer su dirección MAC, incluso si conoce su dirección IP de destino.

7. Dado el siguiente esquema de red, responda:



a. Suponiendo que las tablas de los switches (tablas CAM) están llenas con la información correcta, responda quién escucha el mensaje si:

- La estación 1 envía una trama al servidor 1.
- La estación 1 envía una trama a la estación 11.
- La estación 1 envía una trama a la estación 9.
- La estación 4 envía una trama a la MAC de broadcast.
- La estación 6 envía una trama a la estación 7.
- La estación 6 envía una trama a la estación 10.

b. ¿En qué situaciones se pueden producir colisiones?