

Redes de Computadores

Grado en Ingeniería Informática



Contenido de la asignatura

Tema 1: Redes de Computadores e Internet

Tema 2: Capa de Aplicación

Tema 3: Capa de Transporte

Tema 4: Capa de Red

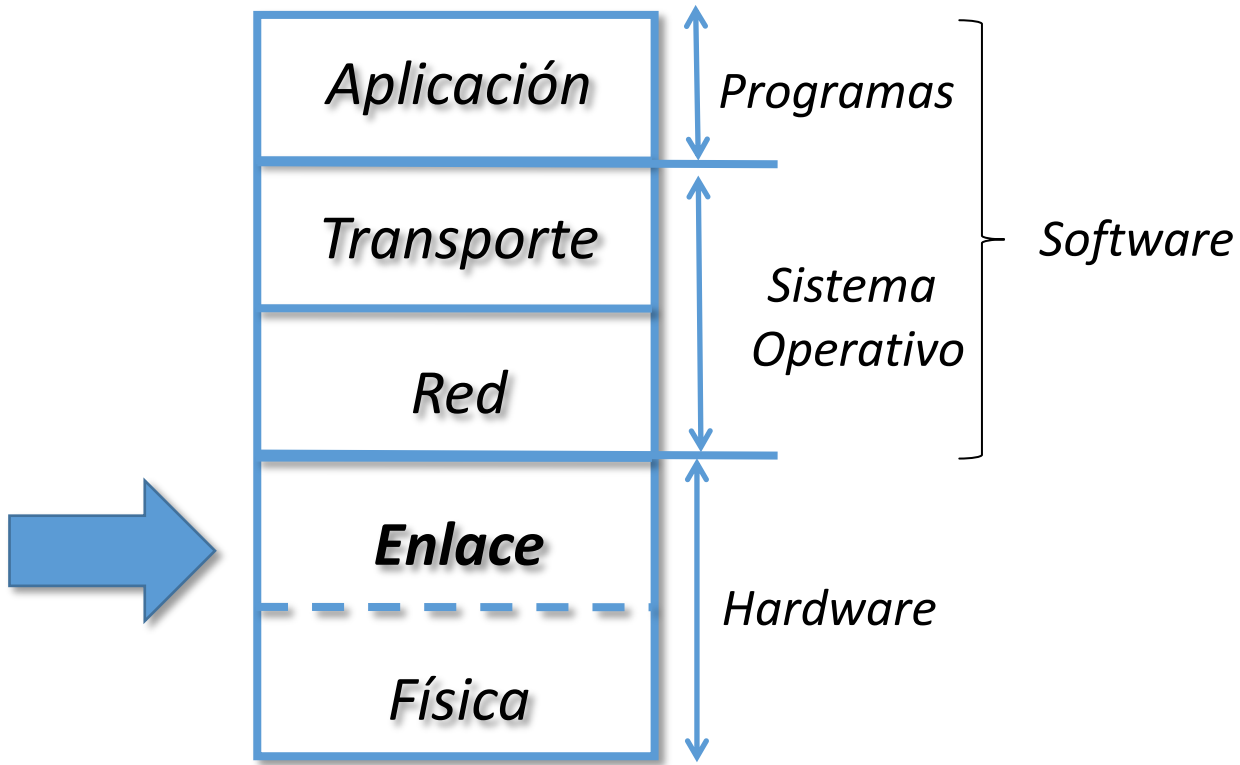
Tema 5: Capa de Enlace de Datos

Redes de Computadores

Tema 5

La Capa de Enlace de Datos





Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

1. Introducción y servicios
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
3. Redes de Área Local (LAN)
 - Direcciones MAC
 - Ethernet (802.3)
 - Conmutadores (Switches)
4. Protocolo ARP
5. Ejemplo

Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

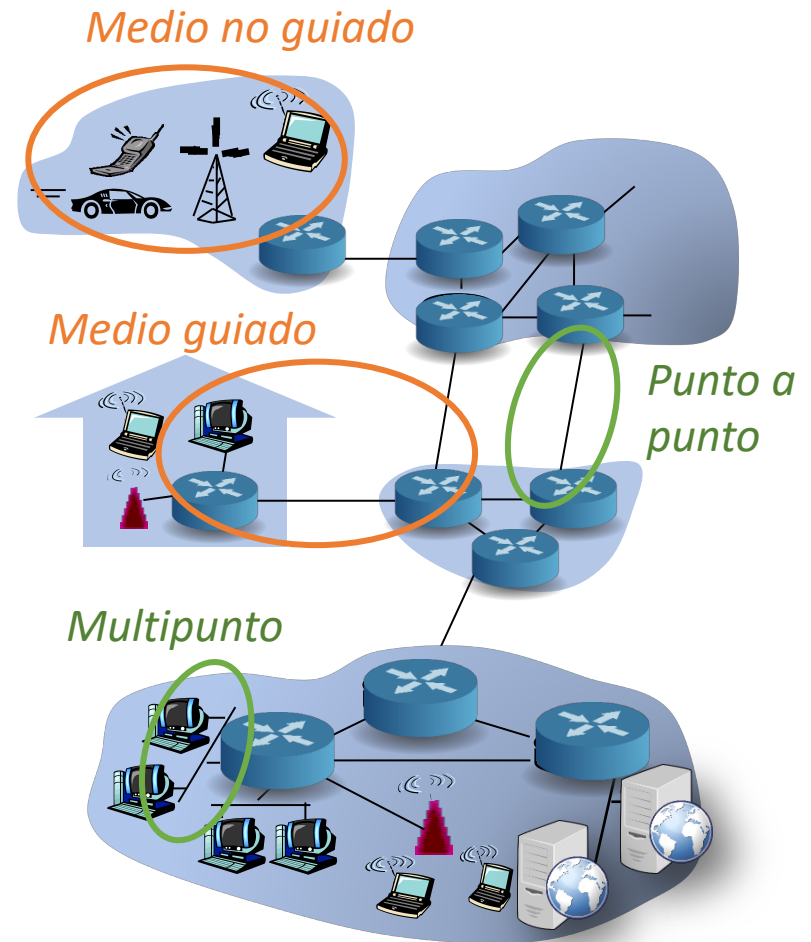
Contenido

1. **Introducción y servicios**
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
3. Redes de Área Local (LAN)
 - Direcciones MAC
 - Ethernet (802.3)
 - Conmutadores (Switches)
4. Protocolo ARP
5. Ejemplo

Introducción y Servicios

Terminología

- **Nodo:** dispositivo que tiene nivel de enlace (hosts, routers, switches,...).
- Canales de comunicación que conectan nodos adyacentes a través de medios físicos son **enlaces (links)**.
 - Guiados (wired links).
 - No guiados (wireless links).
- Los enlaces pueden ser:
 - **Punto a Punto:** Dos nodos conectados por un único medio físico.
 - **Multipunto:** Varios nodos conectados por un único medio físico (medio compartido).
- La PDU de nivel 2 (E_PDU) es la **trama (frame)**, que encapsula E_UD (en general R_PDU, datagrama).

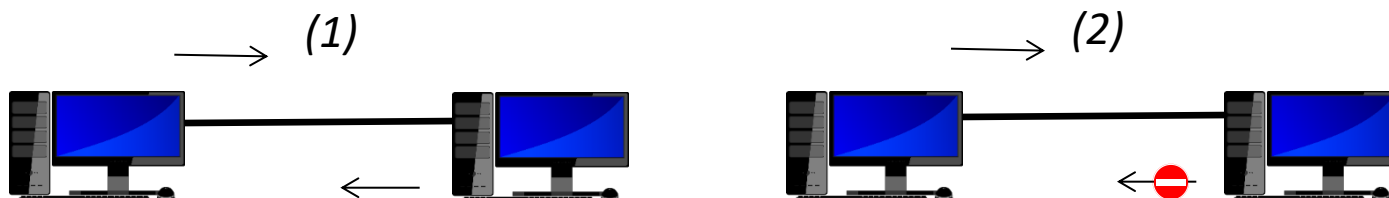


Nivel de Enlace de Datos tiene la responsabilidad de transferir E_PDUs de un nodo a otro adyacente a través de un enlace

Introducción y Servicios

Nivel de Enlace: contexto

- Las tramas se transfieren por diferentes enlaces usando en cada uno de ellos su propio protocolo de enlace de datos:
 - Ej. Un primer enlace Ethernet, en medio uno Fast Ethernet y uno final WI-FI.
- Cada protocolo de enlace provee diferentes servicios.
 - Ej. Puede proporcionar o no transferencia fiable de datos sobre un enlace.
- El nivel físico le ofrece al Nivel de Enlace de Datos un servicio no fiable de envío/recepción de bits o bytes.
 - A veces también informa del estado del medio físico: medio libre (no hay nodos transmitiendo), medio ocupado (hay nodos transmitiendo).
- Dependiendo del protocolo de nivel físico y del medio físico utilizado es posible que el nivel de enlace de datos pueda:
 - Enviar y recibir bits o bytes simultáneamente, conocido como **full-duplex (1)**.
 - Sólo posible en enlaces punto a punto.
 - Enviar y recibir bits o bytes pero no de manera simultánea, conocido como **half-duplex (2)**.



Introducción y Servicios

Servicios del Nivel de Enlace

- Al igual que el nivel de transporte el nivel de enlace de datos puede ofrecer dos tipos de servicios a su nivel superior:
 - **entrega fiable de datos** entre nodos adyacentes.
 - Funciona de manera similar a TCP con los mecanismos vistos en el tema 3.
 - **entrega no fiable de datos** entre nodos adyacentes.
 - Funciona de manera similar a UDP
- Cada protocolo de nivel de enlace ofrece uno de los dos tipos de servicio.
- Lo típico es que ofrezca un servicio de entrega no fiable de datos.
 - La mayoría de los enlaces tienen baja tasa de error.
 - Por ejemplo, enlaces de fibra o algunos tipos de par trenzado.
- En el caso de alta tasa de error en el enlace es necesario que el nivel de enlace implemente el servicio de entrega fiable de datos.
 - Por ejemplo en enlaces inalámbricos (wireless).
- ¿Por qué la entrega fiable de datos tanto a nivel de enlace cómo extremo-extremo a nivel de transporte?

Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

1. Introducción y servicios
- 2. Funciones del nivel de Enlace de Datos**
3. Redes de Área Local (LAN)
 - Direcciones MAC
 - Ethernet (802.3)
 - Conmutadores (Switches)
4. Protocolo ARP
5. Ejemplo

Funciones del Nivel de Enlace de Datos (I)

- **Construcción de la trama:**

- Encapsula la E_UD en la E_PDU, añade E_PCI tanto delante, conocida como **cabecera**, como detrás, conocida como **cola**, de la E_UD.

- **Sincronismo de trama:**

- Sirve para distinguir dónde comienza y acaba cada E_PDU dentro del flujo de bits o bytes recibidos en el nivel de enlace de datos.
 - Cada protocolo define el contenido del campo de la E_PCI que se utiliza para este fin.
 - Por ejemplo: Código ASCII **STX** (**S**tart of **T**eXt) se puede usar para delimitar el comienzo y **ETX** (**E**nd of **T**eXt) para el final.

- **Identificación de nodos (direccionamiento):**

- Cada nodo del enlace de datos debe tener un identificador único que lo distinga del resto de nodos.
 - Permite identificar el nodo origen y destino de la E_PDU.
- Dependiente de la tecnología.
- Conocido como dirección física.
 - Por ejemplo las direcciones MAC
 - Es diferente a las direcciones lógicas (IP)!!!

Funciones del Nivel de Enlace de Datos (II)

- **Detección de errores:**

- Necesario debido a los errores causados por la atenuación de la señales, ruido... que hacen que las E_PDUs lleguen dañadas al receptor.
- Consiste en añadir bits adicionales de E_PCI a la E_PDU, conocidos como bits redundantes, de tal manera que permitan detectar errores en algunos bits.
 - El transmisor calcula el valor de dichos bits antes de enviar la trama.
 - El receptor realiza los mismos cálculos para verificar si coincide con los bits adicionales recibidos.
- Ningún algoritmo es 100% fiable.
 - Algunos errores no serán detectados.
- El algoritmo más utilizado a nivel de enlace de datos es el CRC (Cyclic Redundancy Check).
 - Técnica basada en el cálculo de los bits redundantes mediante operaciones con polinomios binarios.

Funciones del Nivel de Enlace de Datos (III)

- Corrección de errores:

- Retransmisión.
 - Se utilizan mecanismos similares a los vistos en el tema 3.
- El receptor localiza **y corrige** el/los error/es que hubiera en el/los bit/s – no retransmisión.
 - Usos típicos: TDT, video por satélite...
- No está implementado siempre.

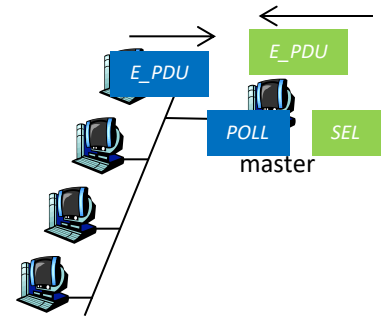
- Control de flujo:

- Regula el ritmo de envío y recepción de E_PDUs entre nodos adyacentes.
- No está implementado siempre.

Funciones del Nivel de Enlace de Datos (IV)

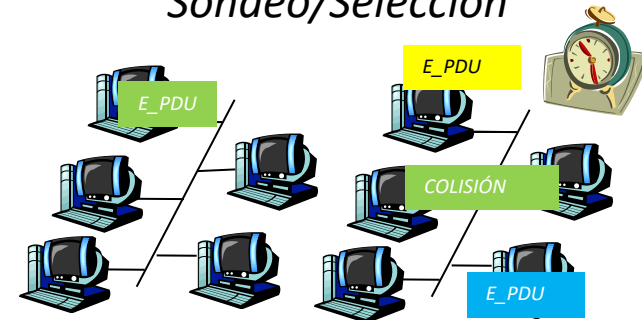
- **Control de acceso al medio:**

- En el caso de medios compartidos es necesario gestionar qué nodo hace uso del enlace en cada momento.
- Puede realizarse de modo:
 - **Centralizado:** Un nodo del enlace, conocido como máster se encarga de gestionar el acceso al medio del resto de nodos, conocidos como esclavos.
 - Se usa la técnica de Sondeo/Selección.
 - Sondeo (Poll) envío de E_PDU de esclavo a máster.
 - Selección (Select) envío de E_PDU de máster a esclavo.
 - **Distribuido:** Todos los nodos del enlace se coordinan para saber en cada momento a quién le toca transmitir (hacer uso del enlace).
 - Por contienda: Un nodo hace uso del enlace si el nivel físico le informa que está libre. En caso de que dos o más nodos transmitan una E_PDU casi a la vez se produce una **colisión**. Cada nodo intenta de nuevo la transmisión de la E_PDU que ha colisionado pasado un tiempo que eligen de manera aleatoria.
 - Por rotación circular: Cada nodo accede al medio cuando le toca su turno.

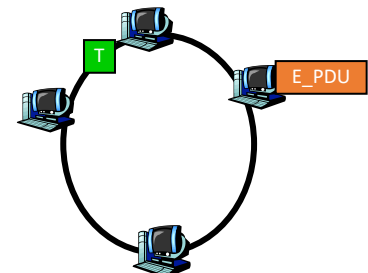


esclavos

Sondeo/Selección



Contienda



Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

1. Introducción y servicios
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
- 3. Redes de Área Local (LAN)**
 - Direcciones MAC
 - Ethernet (802.3)
 - Conmutadores (Switches)
4. Protocolo ARP
5. Ejemplo

LAN (Local Area Network) (I)

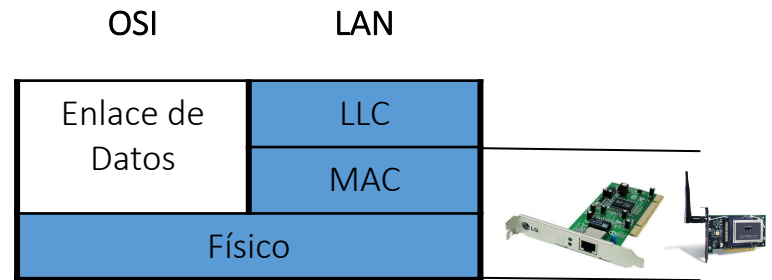
- Las redes de área local son la tecnología de red más utilizada.
- Permiten conectar los sistemas finales y routers dentro del dominio de broadcast.
- Implementan, a través de la interfaz de red, los dos niveles inferiores del modelo OSI, es decir, nivel de enlace y físico.

Nota

El nivel de enlace está subdividido en dos subniveles:

- **LLC** (Link Layer Control, control del enlace lógico) . Realiza las funciones de control de flujo y corrección de errores.
- **MAC** (Medium Access Control, control de acceso al medio). Realiza las funciones de sincronismo de trama, detección de errores, control acceso al medio y direccionamiento.

Hasta el subnivel MAC está implementado en la interfaz de red (tarjeta de red, NIC).



LAN (Local Area Network) (II)

- IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) se encarga de estandarizar las LAN.
 - Esto permite que diferentes fabricantes puedan vender interfaces de red, medios físicos, conectores,..., para una misma tecnología LAN.
- Las normas LAN más utilizadas son:
 - La familia **802.3**, conocida como **Ethernet**.
 - Usan un medio físico guiado.
 - Hoy en día fibra óptica o par trenzado.
 - La familia **802.11**, conocida como **WI-FI (WLAN, Wireless LAN)**.
 - Usan medio físico no guiado.
 - Banda de frecuencia de los 2,4 GHz y 5 GHz.

LAN (Local Area Network) (III)

Nivel de Enlace de Datos	Subnivel LLC	IEEE 802.2																			
	Subnivel MAC																				
Nivel Físico	Nivel Físico	Ethernet	IEEE 802.3 (Ethernet)	IEEE 802.3u (FastEthernet)	IEEE 802.3z (GigabitEthernet)	IEEE 802.3ab (GigabitEthernet over Copper)	IEEE 802.3 an (10GBASE-T)	IEEE 802.3 ae (10GBASE-LR)	IEEE 802.3 ba (100GBASE-LR4)	IEEE 802.3 bq (25G/40GBASE-T)	IEEE 802.3 bs (400GBASE-LR8)	IEEE 802.3 bz (2.5GBASE-T y 5GBASE-T)	IEEE 802.11	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ad	IEEE 802.11af	IEEE 802.11ah

Capas OSI

Especificación LAN

Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

1. Introducción y servicios
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
- 3. Redes de Área Local (LAN)**
 - **Direcciones MAC**
 - Ethernet (802.3)
 - Conmutadores (Switches)
4. Protocolo ARP
5. Ejemplo

Redes de Área Local (LAN)

Direcciones MAC (I)

- Tienen un tamaño de 48 bits.
 - Se usan diferentes notaciones para representarlas, pero todas agrupan en bytes los 48 bits y cada uno de esos bytes lo representa en hexadecimal:

1B:03:F2:45:78:25

F0.34.AB.23.45.12

02DE0A.2343AC

- Existen tres tipos de direcciones MAC:
 - **Unicast**: Sirven para enviar E_PDUs a un único destino.
 - Todas las interfaces de red tienen asignada una de fábrica.
 - **Broadcast**: Usada como destino, sirve para enviar E_PDUs a todos los nodos del dominio de broadcast (FF:FF:FF:FF:FF:FF).
 - **Multicast**: Usada como destino, sirve para enviar E_PDUs a un grupo de nodos del dominio de broadcast.
 - Configurables. Tienen un 1 en el bit menos significativo del primer byte de la dirección MAC.

Redes de Área Local (LAN)

Direcciones MAC (II)

- IEEE administra la asignación de direcciones MAC unicast que vienen de fábrica.
 - A cada fabricante se le asigna una porción de direcciones MAC (para asegurar direcciones únicas).
 - Es posible cambiar la dirección MAC que viene de fábrica.
- Analogía:
 - Dirección MAC: DNI de cada persona.
 - Dirección IP: Dirección postal.
- MAC: direccionamiento plano → portabilidad
 - Podemos mover una tarjeta de red de una LAN a otra.
- IP: direccionamiento jerárquico → NO portable
 - Depende de la red IP a la que el nodo esté conectado.
- Ejemplo: el portátil que se usa en clase tiene una interfaz WI-FI que tiene una MAC única, independientemente de que nos conectemos a la red IP de casa o de la ETSII.

Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

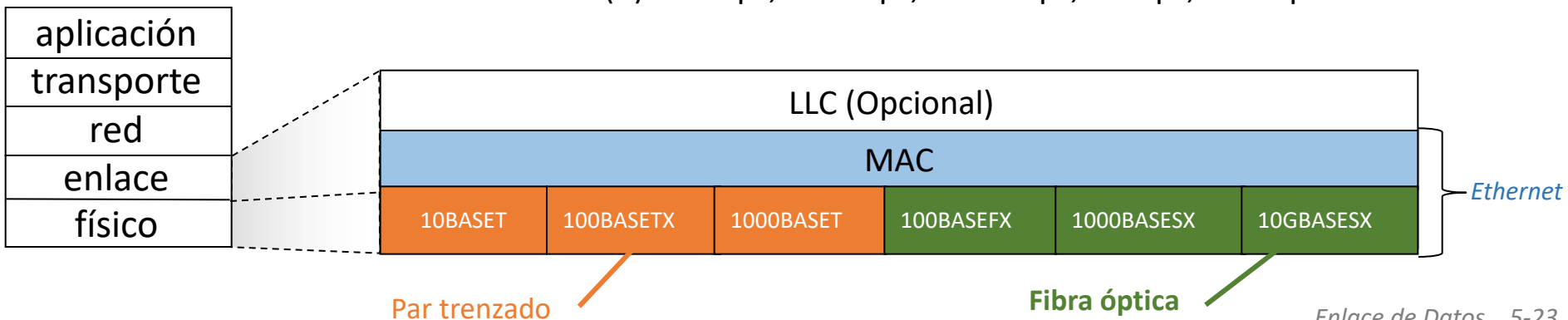
1. Introducción y servicios
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
- 3. Redes de Área Local (LAN)**
 - Direcciones MAC
 - **Ethernet (802.3)**
 - Conmutadores (Switches)
4. Protocolo ARP
5. Ejemplo

Redes de Área Local (LAN)

Ethernet (802.3)


- Es la tecnología LAN que más éxito ha tenido.
 - Fácil de instalar.
 - Más barata.
- Muchos estándares diferentes de Ethernet.
 - En común el subnivel MAC.
 - Protocolo de acceso al medio.
 - Mecanismo de contienda.
 - Formato de la MAC_PDU (trama).
 - Permite enlaces multipunto o punto a punto.
 - Diferentes protocolos de nivel físico:
 - Medios físicos: fibra, coaxial y par trenzado.
 - Diferentes velocidades (R): 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps.

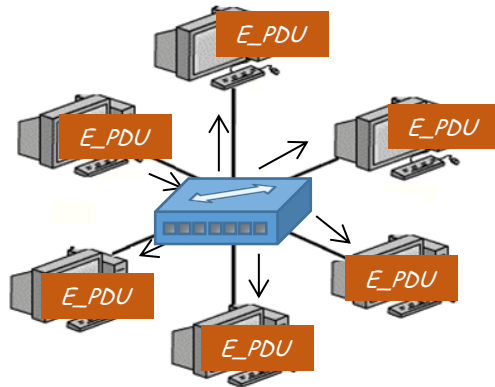
Internet



Redes de Área Local (LAN)

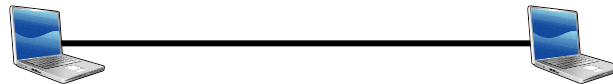
Ethernet 802.3 - ¿Cómo se conectan los nodos?

- Hasta 100 Mbps se pueden tener enlaces punto a punto (half-duplex o full-duplex) o multipunto.
- Para los enlaces multipunto se usa un dispositivo de nivel físico, conocido como **concentrador** o **hub**. 
 - Un hub permite que todo lo que se envíe por una interfaz de red (nodo) sea recibido por el resto de interfaces de red.



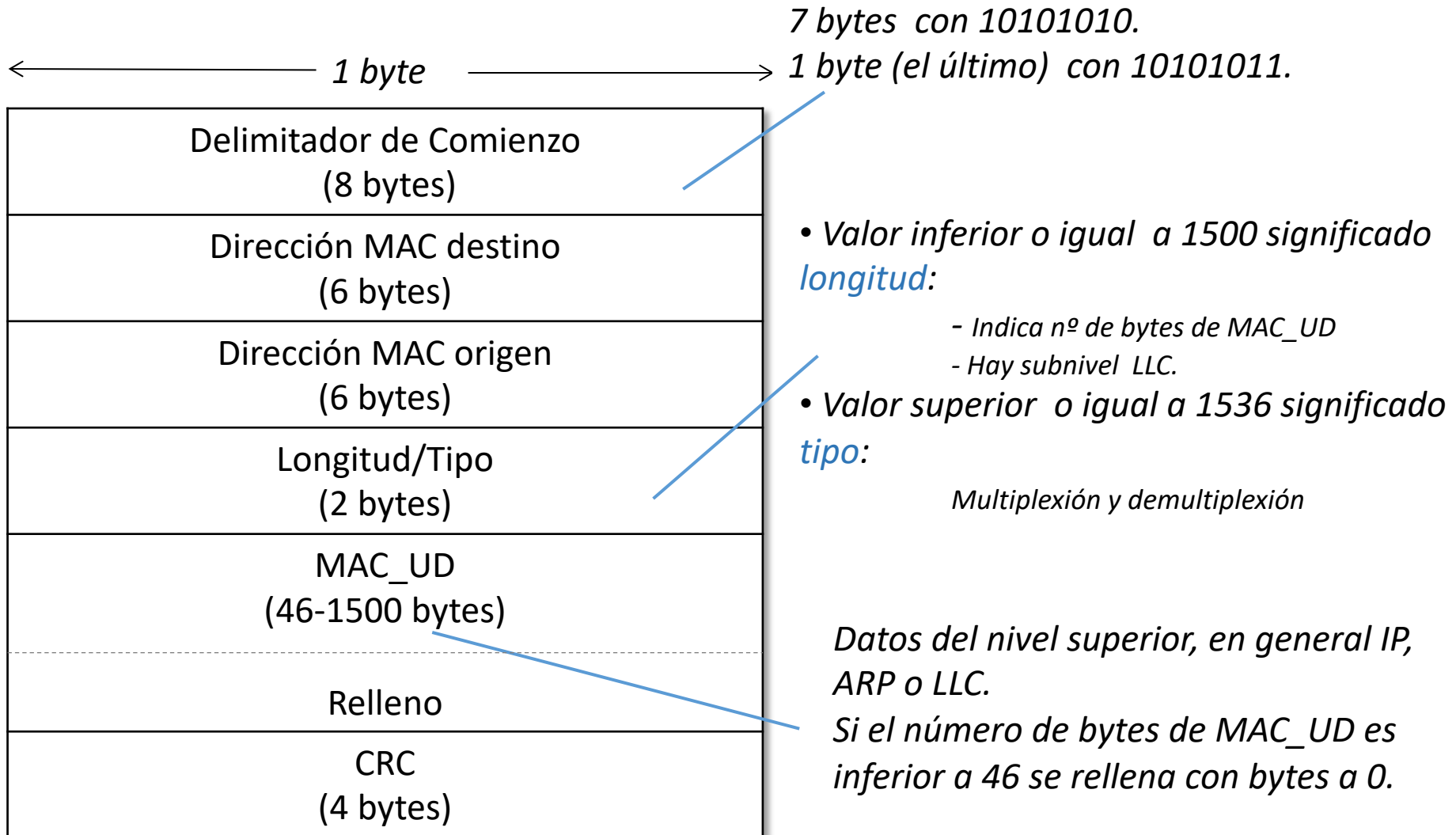
Nota
Si dos o más nodos transmiten casi de manera simultánea se produce una **colisión**

- A partir de 1Gbps los enlaces son punto a punto (half-duplex o full-duplex).
 - Sólo dos interfaces de red (nodos) en el enlace.
 - Por ejemplo:



Redes de Área Local (LAN)

Ethernet 802.3 – MAC_PDU (trama)



Nota

La MTU de Ethernet es **1500 bytes**

Redes de Área Local (LAN)

Ethernet 802.3 – Funcionamiento básico

- Transmisión: Un nodo una vez que tiene una MAC_PDU para ser enviada, si el nivel físico es...
 - ...**half-duplex**, comprueba que el enlace esté libre, en caso afirmativo envía bit a bit todos los bits de la MAC_PDU, en caso negativo, espera a que esté libre.
 - Si ocurren colisiones intenta transmitirla pasado un tiempo aleatorio.
 - ...**full-duplex**, envía bit a bit todos los bits de la MAC_PDU.
- Recepción: Un nodo una vez que recibe una MAC_PDU comprueba si es destino de la misma, en caso afirmativo, procesará la MAC_PDU, desencapsulándola, en otro caso, la descartará.
 - Si recibe una MAC_PDU errónea la descarta y no avisa al transmisor.
 - Ethernet ofrece un servicio de entrega **no fiable**, por eso no requiere establecimiento de conexión (funcionamiento similar a IP y UDP).

Nota

*Un nodo considera que es destino de una MAC_PDU si el campo dirección MAC destino de la MAC_PDU tiene un valor que coincide con la dirección MAC **unicast** que tiene de fábrica, la dirección MAC **broadcast** y las direcciones **multicasts** que tuviera configuradas.*

Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

1. Introducción y servicios
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
- 3. Redes de Área Local (LAN)**
 - Direcciones MAC
 - Ethernet (802.3)
 - **Conmutadores (Switches)**
4. Protocolo ARP
5. Ejemplo

Redes de Área Local (LAN)

Conmutadores (Switches)

- Un **switch LAN**, conocido también como **conmutador LAN**, **punto de acceso LAN**, o **bridge LAN**, permite interconectar de manera **transparente** LANs que utilicen el mismo o distinto subnivel MAC (el nivel físico tampoco tiene por qué coincidir).
 - Por ejemplo: Conectar una WLAN (WIFI) con Ethernet. A este tipo de switch se le conoce con el nombre de **punto de acceso**.
- El funcionamiento de estos dispositivos está descrito en la norma **IEEE 802.1d**, “Media Access Control Bridges”, Puentes MAC.



Switch

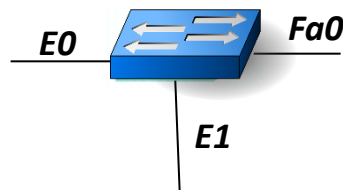


Puente

Redes de Área Local (LAN)

Conmutadores (Switches) – Características

- Un switch está formado por un conjunto de interfaces de red, cada una de igual o distinta tecnología LAN.
- Las interfaces de un switch se identifican de manera similar a los routers.



Nota

E = Ethernet, R:10 Mbps
Fa = Fast Ethernet, R:100 Mbps.
Gi = Gigabit Ethernet, R:1Gbps.

- Cada interfaz de un switch es un enlace distinto que puede ser punto a punto o multipunto, conocido como **dominio de colisión o de ancho de banda**.
 - En caso de enlace multipunto o punto a punto half-duplex el acceso al medio lo controlará el protocolo MAC de la tecnología LAN que se utilice en esa interfaz.

Redes de Área Local (LAN)

Conmutadores (Switches) – Funcionamiento (I)

- Un switch va a procesar todas las MAC_PDU¹ que recibe por una de sus interfaces para:
 - **Aprender** la ubicación del nodo origen de la MAC_PDU.
 - **Reenviar** la MAC_PDU, si procede, por una interfaz distinta a la del origen.
 - **No funciona como un HUB.**
 - Conocido como dispositivo de **almacenamiento/reenvío** (store&forward).
- Un switch mantiene una tabla conocida como **tabla de direcciones MAC** o **tabla de conmutación** en donde registra la ubicación de los distintos nodos que están en el dominio de broadcast y la consulta para ver si debe reenviar o no una MAC_PDU recibida por una interfaz.

¹Se dice que trabaja en *modo promiscuo*

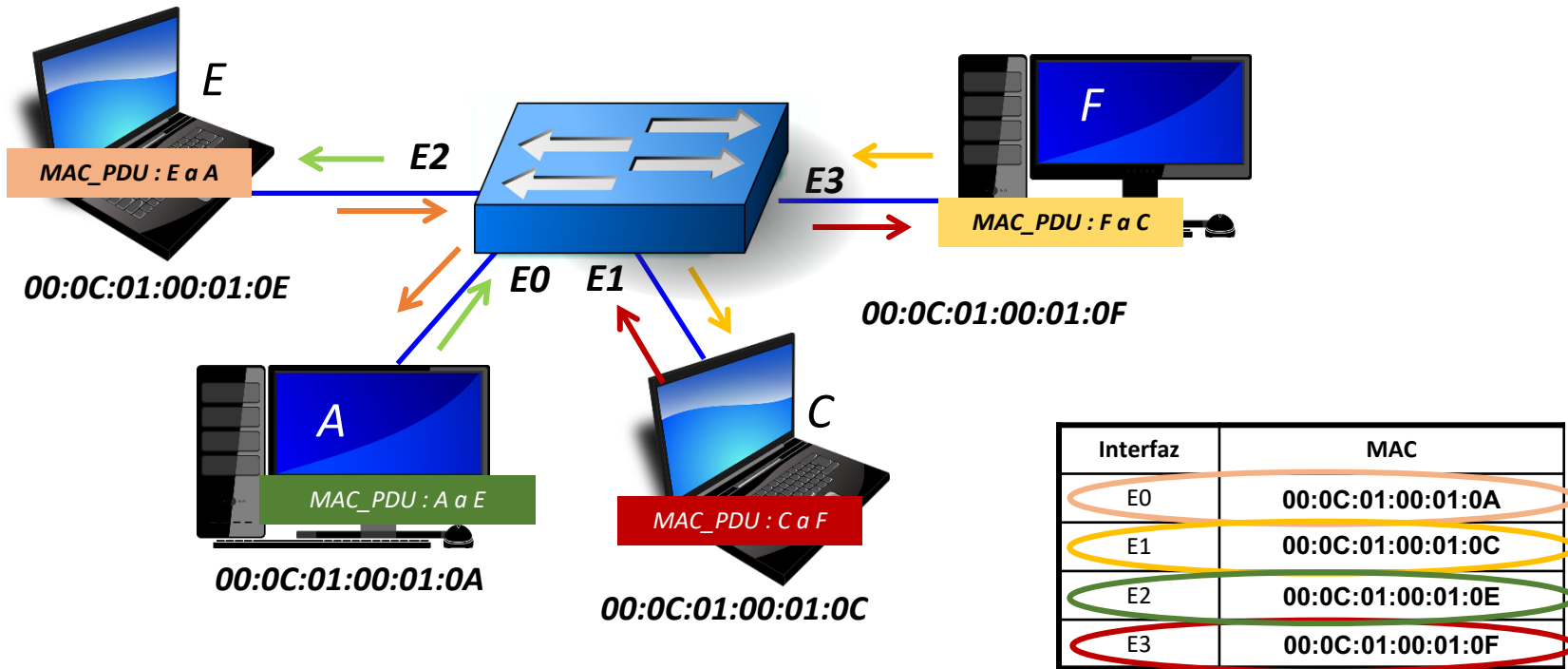
Redes de Área Local (LAN)

Conmutadores (Switches) – Funcionamiento (II)

- Cada **entrada** de la tabla de conmutación contiene:
 - Interfaz.
 - Dirección MAC.
 - Marca de Tiempo.
- ¿Cómo se rellena la tabla de conmutación?
 - Manualmente.
 - No es usual.
 - Dinámicamente.
 - Aprendiendo de las MAC_PDUs que va recibiendo el switch por cada una de sus interfaces.
 - **No funciona como un router.**
 - Las entradas se mantienen durante un tiempo.

Redes de Área Local (LAN)

Conmutadores (Switches) – Funcionamiento (III)



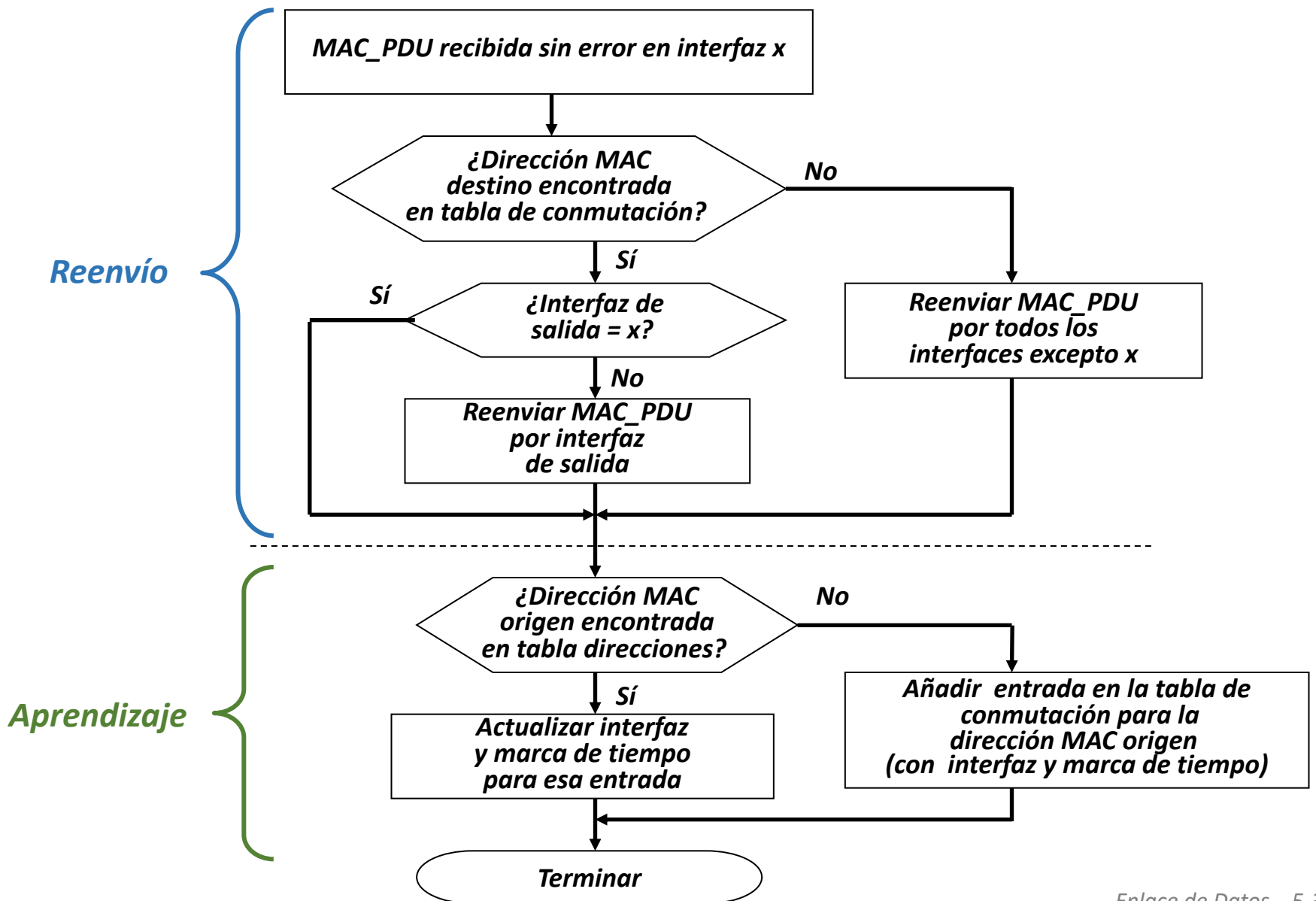
Nota

Un switch, al igual que un router, ...

... requiere de *buffers* para ir almacenando tanto las MAC_PDU que van llegando por una interfaz antes de procesarlas, como las MAC_PDU antes de ser enviadas por una interfaz.
... introduce *retardos*.

Redes de Área Local (LAN)

Conmutadores (Switches) – Funcionamiento (IV)

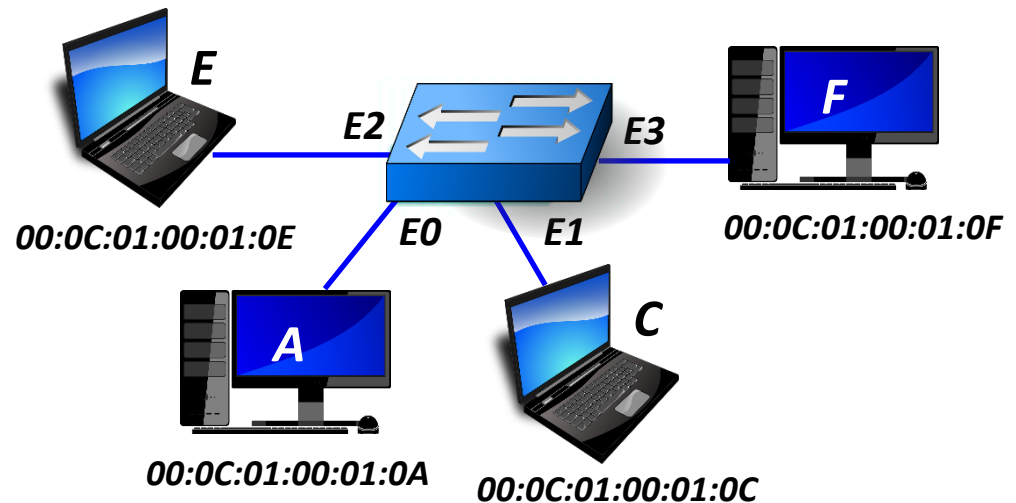


Redes de Área Local (LAN)

Conmutadores (Switches) – Ejemplo (I)

- ¿Cuántos dominios de ancho de banda hay?
- F envía una MAC_PDU a A . ¿Quién la recibe y procesa?
- Un minuto más tarde C envía MAC_PDU a F. ¿Quién la recibe y procesa?
- Dos minutos más tarde F envía una MAC_PDU con destino la MAC broadcast. ¿Quién la recibe y procesa?
- ¿Cuántos dominios de broadcast hay?

Interfaz	MAC	Tiempo



Redes de Área Local (LAN)

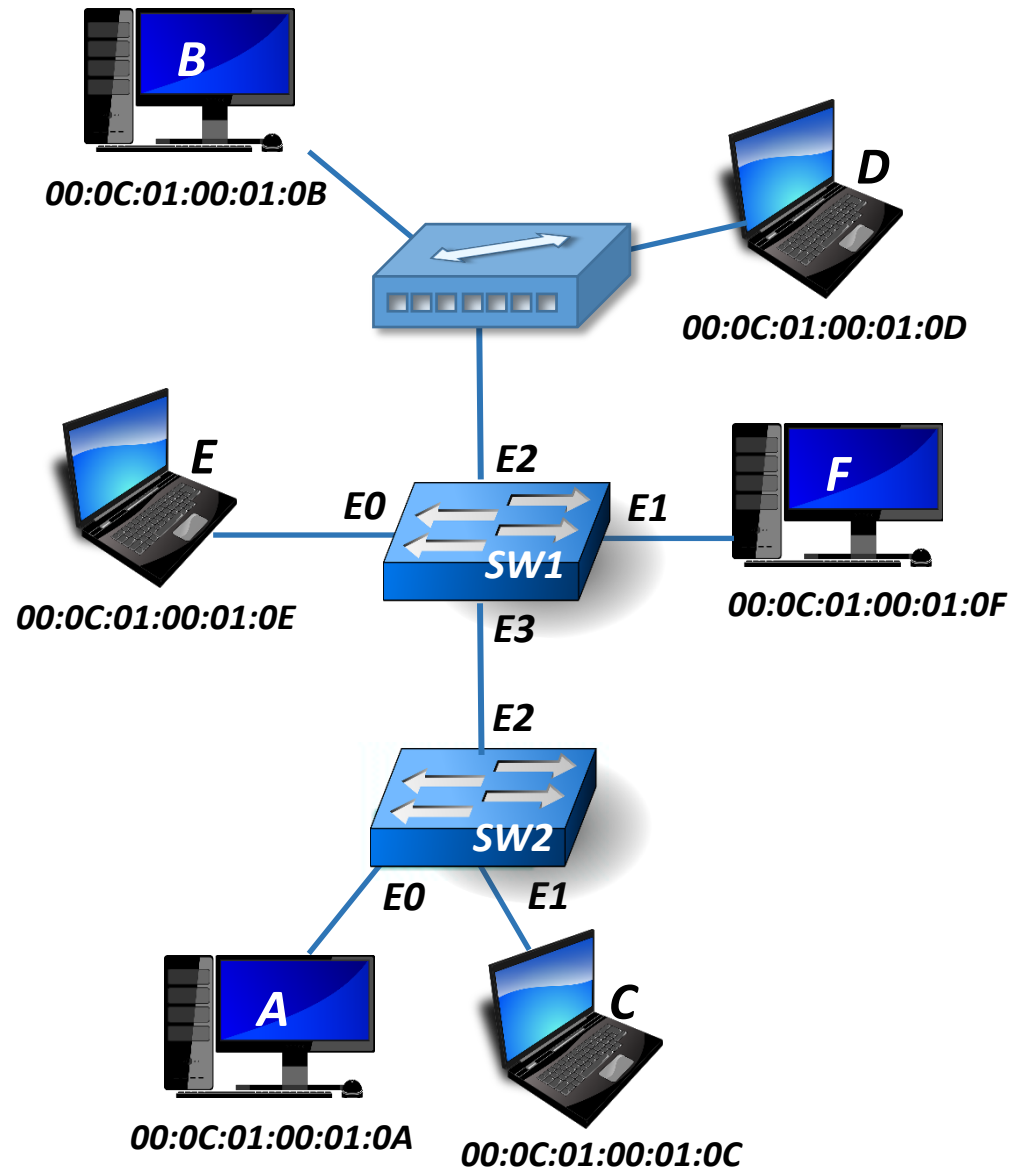
Conmutadores (Switches) – Ejemplo (II)

- ¿Cuántos dominios de ancho de banda hay?
- ¿Quién envió la última MAC_PDU? ¿A quién?
- F envía una MAC_PDU a B. ¿Quién la recibe y procesa?

Switch 1		
Interfaz	MAC	TIEMPO
E2	00:0C:01:00:01:0B	4

- Un minuto más tarde D envía MAC_PDU a C. ¿Quién la recibe y procesa?
- Tres minutos más tarde E envía una MAC_PDU con destino la MAC broadcast. ¿Quién la recibe y procesa?
- ¿Cuántos dominios de broadcast hay?

Switch 2		
Interfaz	MAC	TIEMPO
E1	00:0C:01:00:01:0C	5
E0	00:0C:01:00:01:0A	1



Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

1. Introducción y servicios
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
3. Redes de Área Local (LAN)
 - Direcciones MAC
 - Ethernet (802.3)
 - Conmutadores (Switches)
- 4. Protocolo ARP**
5. Ejemplo

Protocolo ARP

Introducción

- El nivel de enlace de datos para poder crear y entregar la E_PDU a su destino, requiere que el nivel de red le indique el nodo destino de la misma, es decir, el valor que debe tener el campo dirección física destino de la E_PCI.
 - Para las LAN la dirección MAC destino.
- El nivel de red se lo indica utilizando para ello un campo de la E_ICI de la E_IDU que entrega al nivel de enlace.
- IP **sólo** conoce la dirección IP del destino o la IP del próximo salto, según el caso.

Recuerda

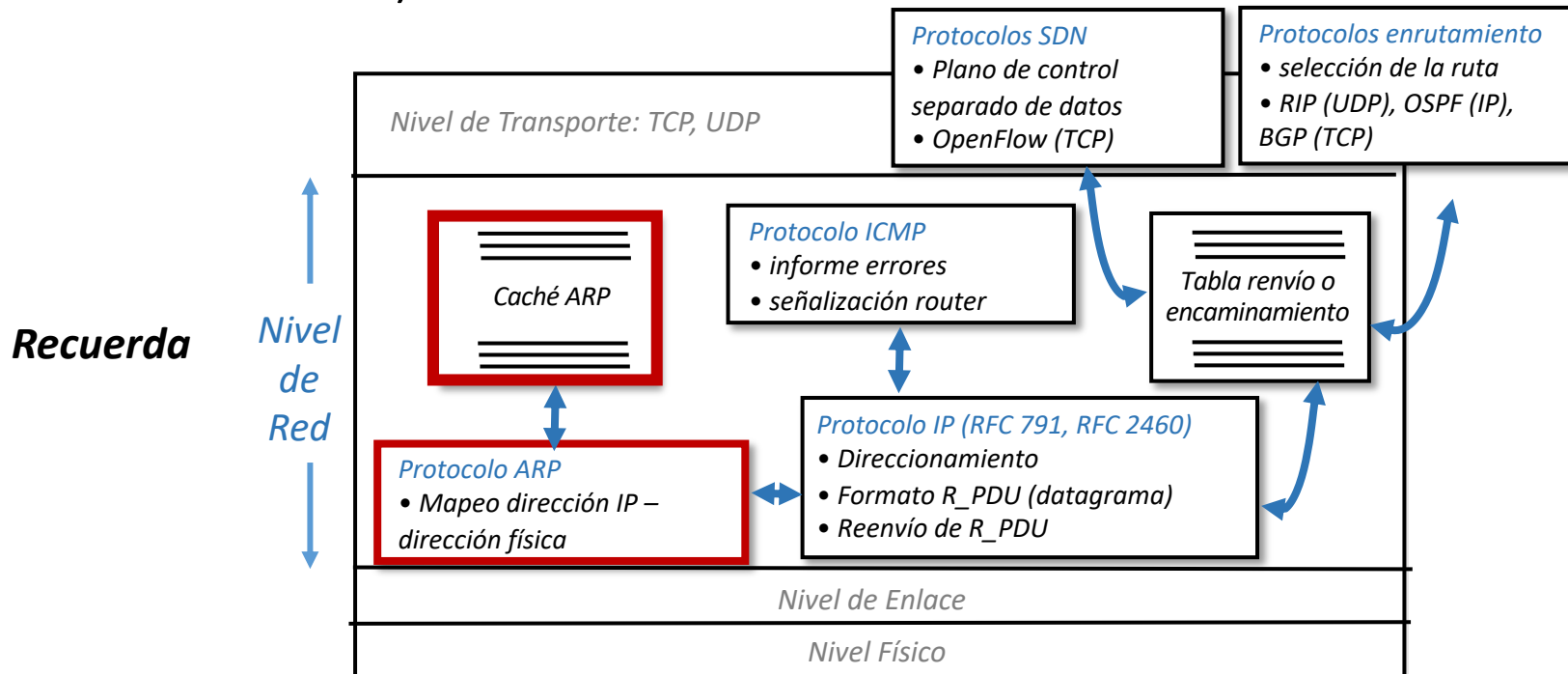
*IP para enviar una IP_PDU busca en la tabla de enrutamiento (TE) una entrada para la red del destino, si existe, la envía por la interfaz indicada en la TE, usando para **ello los servicios de nivel de enlace...***

- *...directamente al destino, si está directamente conectado .*
- *... al dispositivo (router) cuya dirección IP coincida con la indicada en la TE como próximo salto.*

Protocolo ARP

¿Cómo descubre IP la dirección física?

- Usando los servicios de un protocolo del nivel de red de Internet: El protocolo **ARP** (Address Resolution Protocol, Protocolo de resolución de direcciones). RFC 826.



- ARP también **usa** los servicios del nivel de enlace.

Protocolo ARP

Caché ARP (I)

- Cada dispositivo con nivel de red de Internet mantiene una tabla, conocida como de **mapeo de direcciones** o **caché arp**, en la que se mapea la dirección de nivel físico (por ejemplo la dirección MAC) que tiene el dispositivo que tiene configurada una determinada dirección IP.
- ARP puede tanto consultar como modificar el contenido de esta tabla.
- La tabla de mapeo de direcciones contiene tres entradas:
 - Dirección IP.
 - Dirección física.
 - Marca de Tiempo. (La obviaremos)

Ejemplo caché arp	
Dirección IP	Dirección MAC
193.1.1.25	00:0C:01:00:01:0A
193.1.1.12	00:0C:01:00:01:0C

Protocolo ARP

Caché ARP (II)

¿Cómo se rellena la caché ARP?

- Manualmente.
 - Entradas estáticas.
 - Poco usual.
- Dinámicamente:
 - Haciendo uso del protocolo ARP.
 - ARP cuando aprende la dirección física asociada a una dirección IP la introduce en la caché.
 - Las entradas se eliminan de la caché pasado un tiempo.
 - En cada consulta de una entrada de la caché se actualiza su marca de tiempo al valor máximo.

Nota

En la RFC 826 no está descrita la manera de gestionar la caché ARP ni la marca de tiempo, por lo que las implementaciones de ARP en diferentes sistemas operativos o dispositivos (PC, routers, ...) pueden diferir unas de otras.

Protocolo ARP

Funcionamiento básico ARP (I)

Cuando el protocolo IP en un dispositivo con capa Internet le solicita a ARP la dirección física asociada a una IP, el protocolo ARP consulta la caché ARP:

- En el caso de que exista entrada para esa dirección IP, le indica a IP la dirección física asociada.
 - Actualiza la marca de tiempo de esa entrada al valor máximo.
- En caso de que no exista, entonces,
 - pone en marcha un mecanismo, conocido como pregunta/respuesta, para descubrir la dirección física asociada a la dirección IP consultada por el protocolo IP.
 - Tanto el dispositivo cuya IP no se conocía, destino, como el origen modifican su caché arp.
 - El destino actualiza o incluye una nueva entrada en la caché ARP para el dispositivo origen.
 - El origen incluye una nueva entrada en la caché ARP.

Protocolo ARP

Funcionamiento básico ARP (II)

Pregunta:

- Envía una ARP_PDU, conocida como **ARP Request**, para preguntar por la dirección IP solicitada por IP e informar de su propia dirección IP y dirección física al encuestado.
 - Debe ser recibida por todos los dispositivos con capa Internet del dominio de broadcast.
 - ARP al solicitar servicios al nivel de enlace para enviar esta ARP_PDU le indica en la E_ICI de la E_IDU que la dirección física destino sea broadcast.

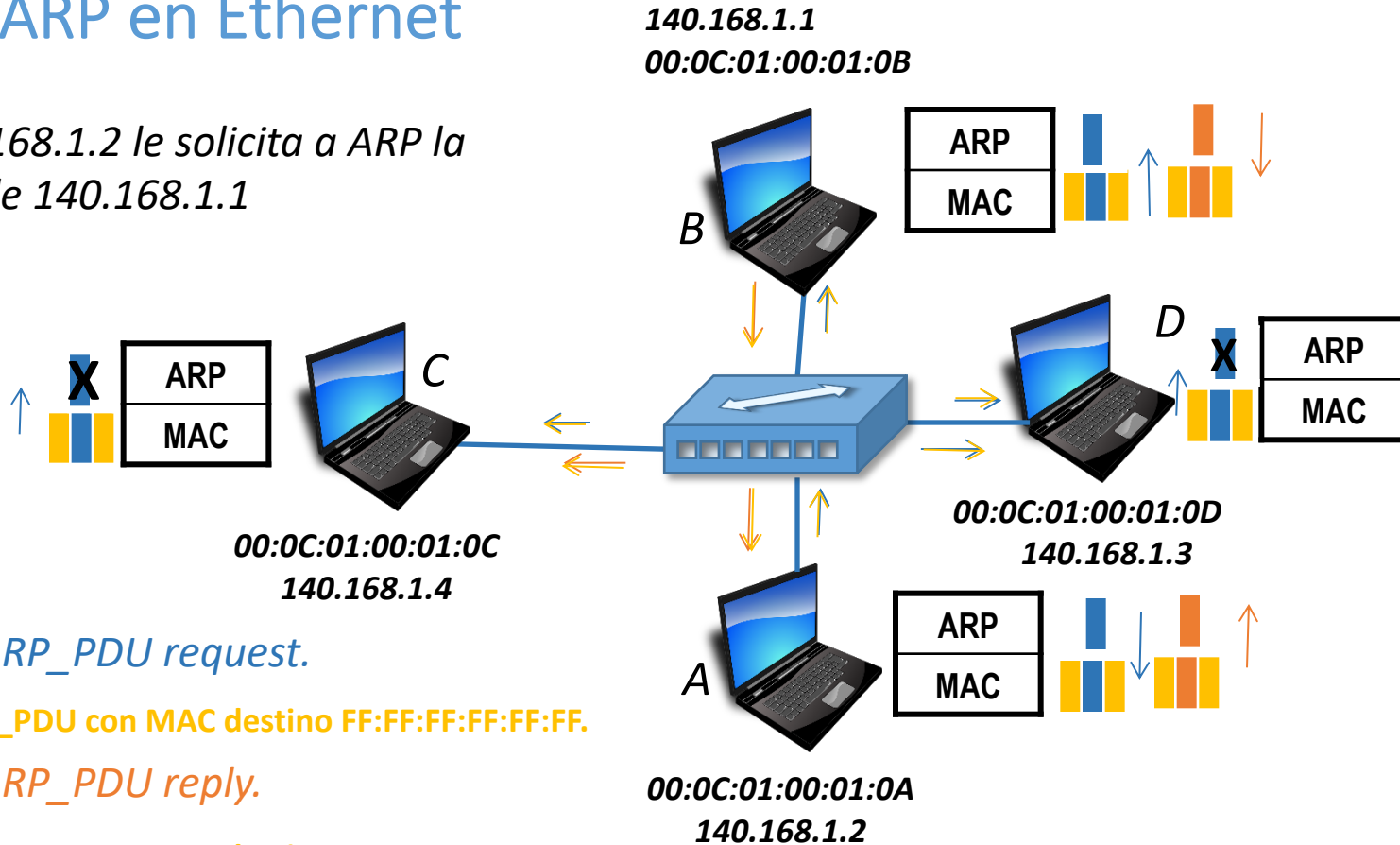
Respuesta:

- El dispositivo del dominio de broadcast cuya dirección IP coincida con la solicitada responde con una ARP_PDU, conocida como **ARP Reply** para informar de su dirección IP y física.
 - Debe ser recibida sólo por el dispositivo que envió el ARP Request.
 - ARP al solicitar servicios al nivel de enlace para enviar esta ARP_PDU le indica en la E_ICI de la E_IDU que la dirección física destino sea la que acaba de añadir en su caché arp .

Protocolo ARP

Ejemplo, ARP en Ethernet

IP en el PC 140.168.1.2 le solicita a ARP la dirección MAC de 140.168.1.1



1.- Solicitud envío ARP_PDU request.

Encapsulada en MAC_PDU con MAC destino FF:FF:FF:FF:FF:FF.

2.- Solicitud envío ARP_PDU reply.

Encapsulada en MAC_PDU con MAC destino 00:0C:01:00:01:0A.

caché arp A	
Dirección IP	Dirección MAC
140.168.1.1	00:0C:01:00:01:0B

caché arp B	
Dirección IP	Dirección MAC
140.168.1.2	00:0C:01:00:01:0A

Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

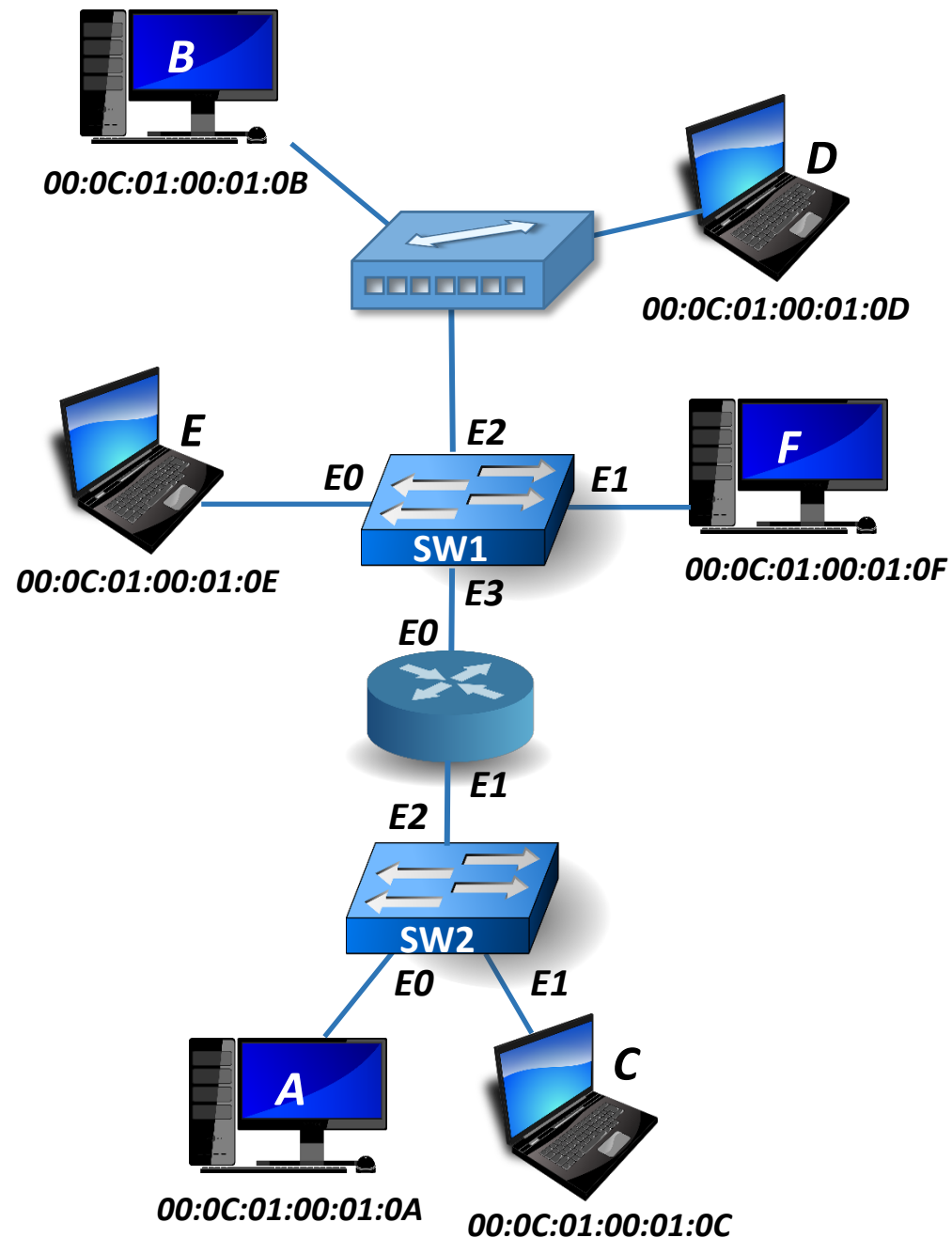
- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

1. Introducción y servicios
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
3. Redes de Área Local (LAN)
 - Direcciones MAC
 - Ethernet (802.3)
 - Conmutadores (Switches)
4. Protocolo ARP
5. **Ejemplo**

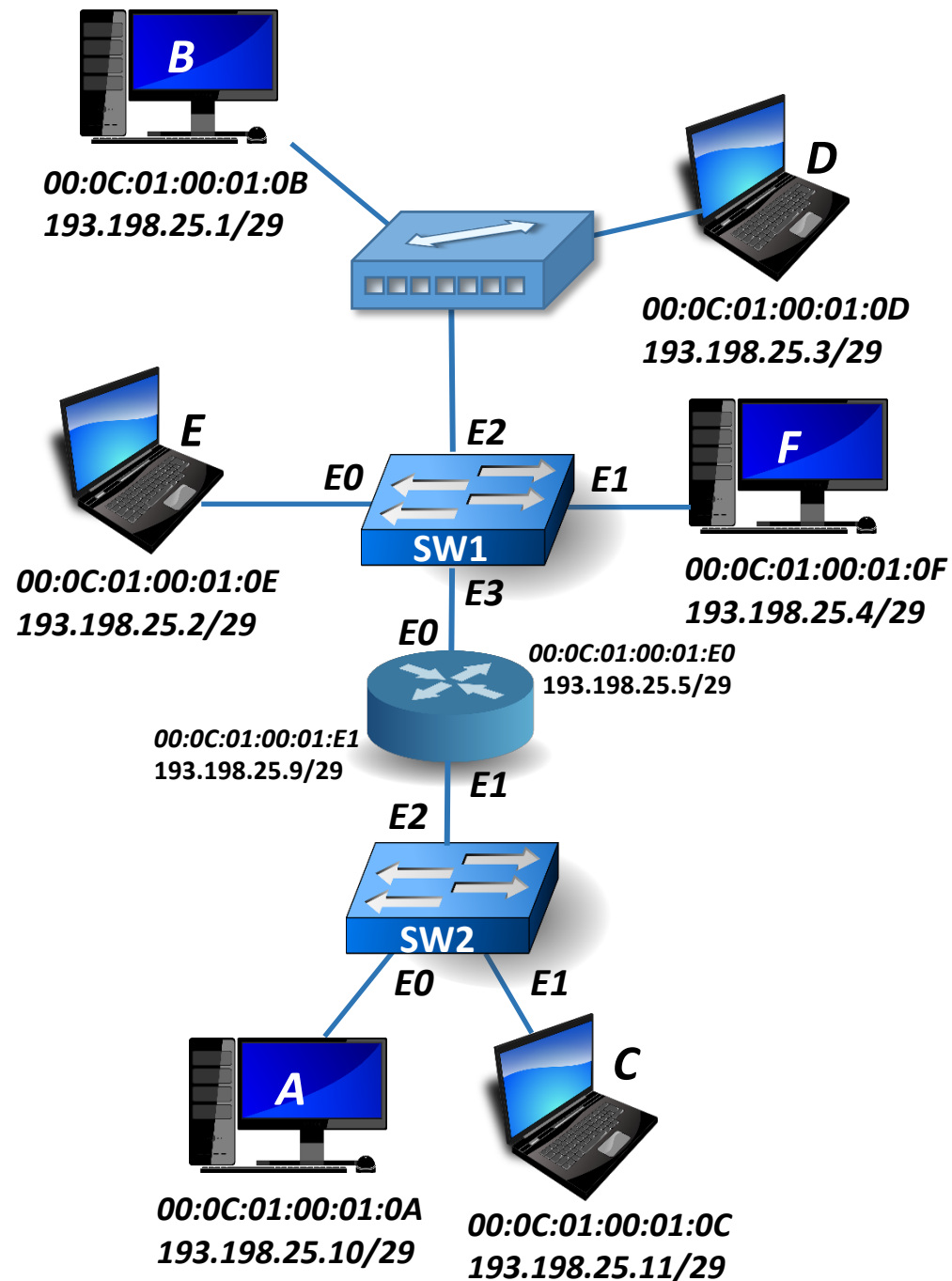
Ejemplo de red (I)

- ¿Cuántos dominios de ancho de banda hay? ¿Y de broadcast?
- ¿A qué velocidad (R) se transmite en cada enlace?
- Si esta red se direcciona con direccionamiento sin clase, ¿Cuántos bits como mínimo se deben tener para identificar a host en cada red lógica?
- ¿Es posible direccionar esta red a partir del bloque CIDR 193.198.25.0/28?
- Si todos los dispositivos están sin configurar y se acaban de encender, ¿cuál es el contenido de la tabla de conmutación, tabla de enrutamiento y las caché arp de cada dispositivo según corresponda?



Ejemplo de red (II)

- ¿Qué máscara se ha configurado en el PC A?
- ¿Qué router por defecto se ha configurado en PC F?
- Si aún no se ha generado ningún tráfico en la red, ¿cuál es el contenido de la tabla de conmutación, tabla de enrutamiento y las caché arp de cada dispositivo según corresponda?



Ejemplo de red (III)

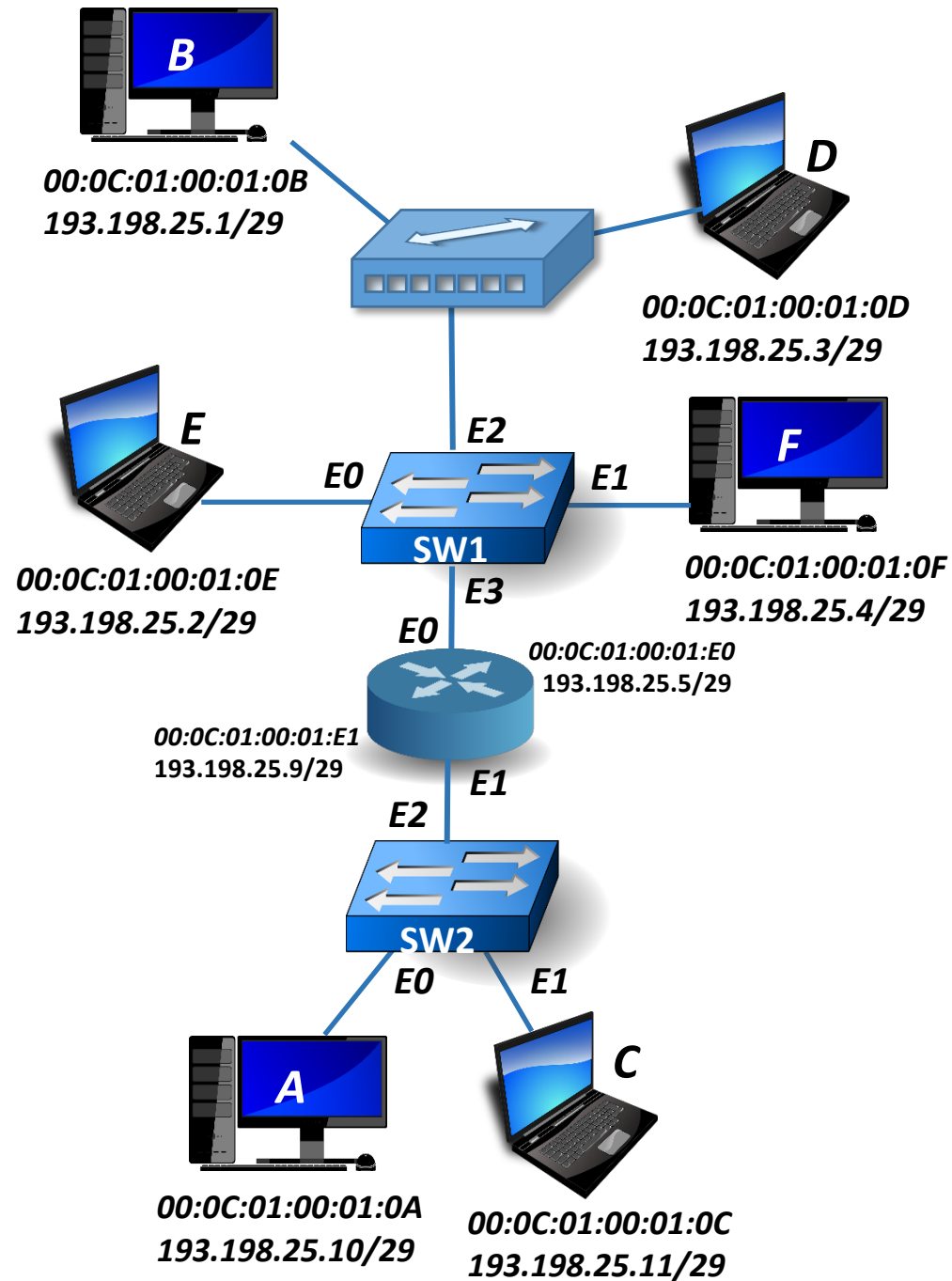
TE Host Red 193.198.25.0/29		
Red	Próximo salto	Interfaz
193.198.25.0/29	-	E
0.0.0.0/0	193.198.25.5	E

TE Host Red 193.198.25.8/29		
Red	Próximo salto	Interfaz
193.198.25.8/29	-	E
0.0.0.0/0	193.198.25.9	E

TE Router		
Red	Próximo salto	Interfaz
193.198.25.0/29	-	E0
193.198.25.8/29	-	E1

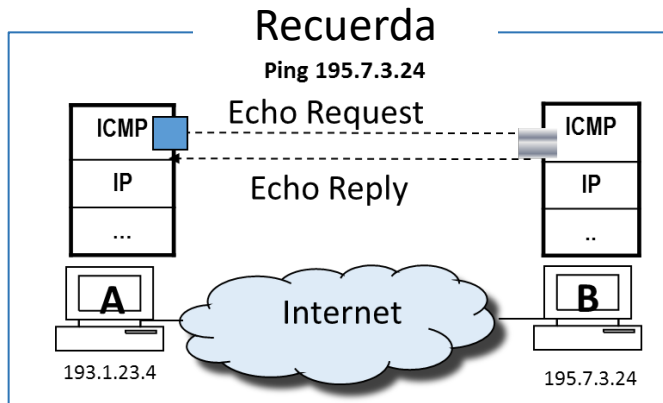
Tabla Conmutación switches	
Interfaz	MAC

caché arp todos los dispositivos	
Dirección IP	Dirección MAC

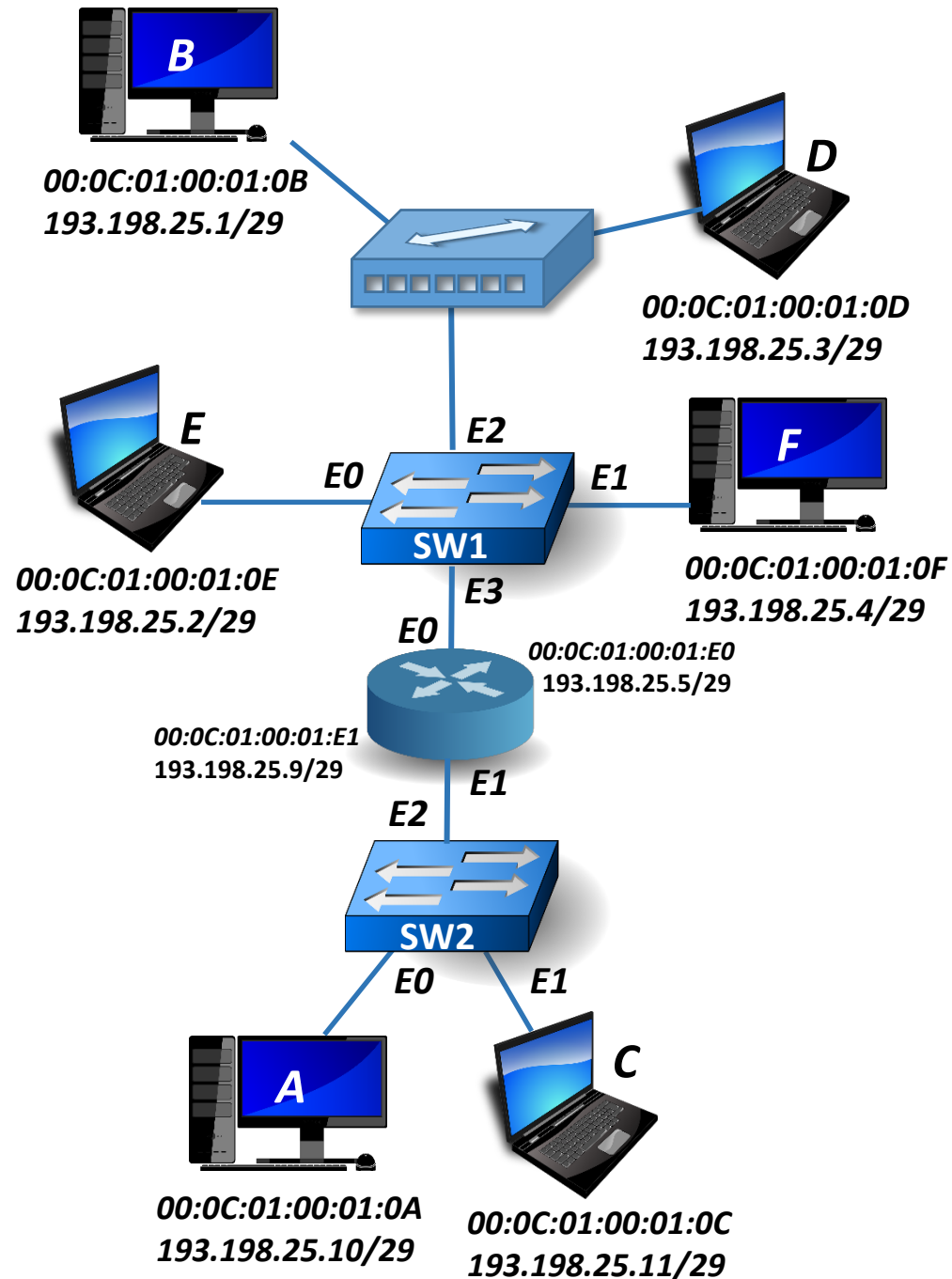


Ejemplo de red (IV)

- Prueba de conectividad de 193.198.25.10 a 193.198.25.11 con éxito.



¿Cuál es el contenido de las tablas de conmutación y las caché arp de cada dispositivo, según corresponda, tras la prueba de conectividad?



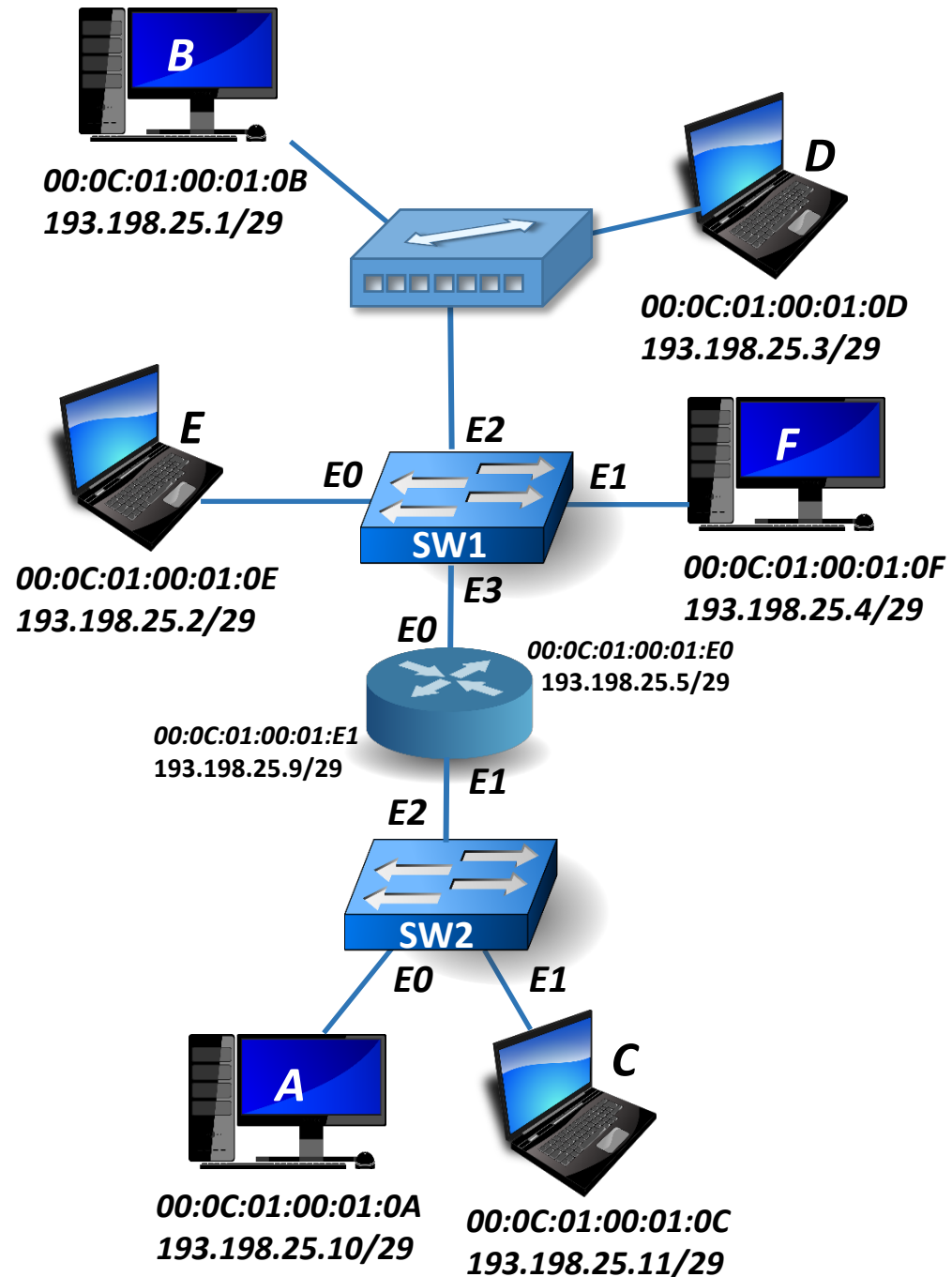
Ejemplo de red (V)

Tabla Conmutación SW1	
Interfaz	MAC

Tabla Conmutación SW2	
Interfaz	MAC
E0	00:0C:01:00:01:0A
E1	00:0C:01:00:01:0C

caché arp A	
Dirección IP	Dirección MAC
193.198.25.11	00:0C:01:00:01:0C

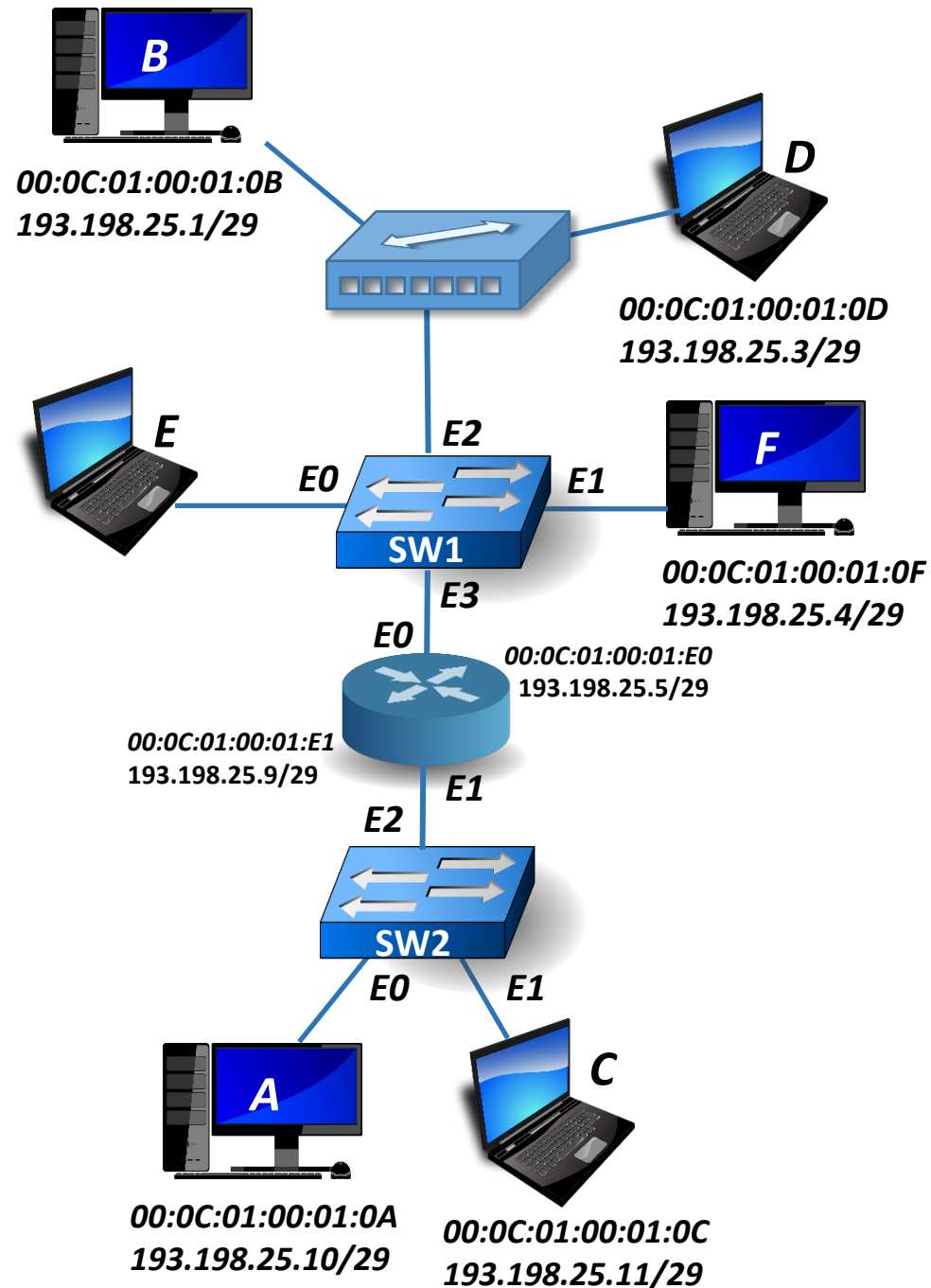
caché arp C	
Dirección IP	Dirección MAC
193.198.25.10	00:0C:01:00:01:0A



Ejemplo de red (VI)

- Prueba de conectividad de 193.198.25.11 a 193.198.25.4 con éxito.
- Vamos a suponer que ha habido un periodo de inactividad en la red.
- Caché arp y tabla switches vacías.

¿Cuál es el contenido de la tabla de conmutación y las caché arp de cada dispositivo, según corresponda, tras la prueba de conectividad?



Ejemplo de red (VII)

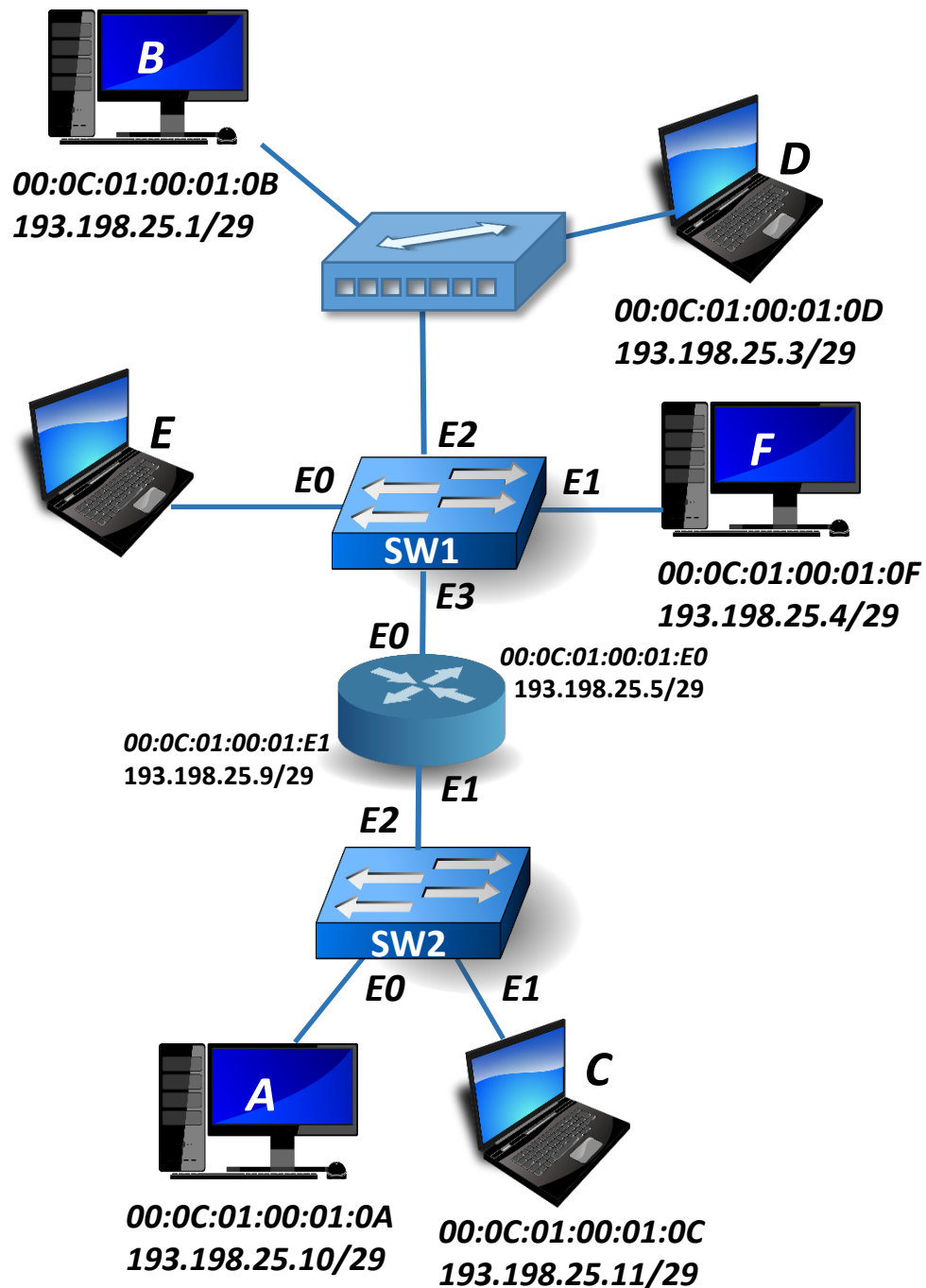
Tabla Conmutación SW1	
Interfaz	MAC
E1	00:0C:01:00:01:0F
E3	00:0C:01:00:01:E0

Tabla Conmutación SW2	
Interfaz	MAC
E1	00:0C:01:00:01:0C
E2	00:0C:01:00:01:E1

caché arp router	
Dirección IP	Dirección MAC
193.198.25.11	00:0C:01:00:01:0C
193.198.25.4	00:0C:01:00:01:0F

caché arp C	
Dirección IP	Dirección MAC
193.198.25.9	00:0C:01:00:01:E1

caché arp F	
Dirección IP	Dirección MAC
193.198.25.5	00:0C:01:00:01:E0



Tema 5: La Capa de Enlace de Datos

Objetivos

- Entender los principales servicios del nivel de enlace de datos:
 - Control de errores (detección, corrección)
 - Compartir un canal de difusión: acceso múltiple
 - Direcciones MAC
 - Transferencia de datos fiables, control de flujo
- Estudiar un ejemplo de su implementación en redes de área local (LAN): Ethernet.

Contenido

1. Introducción y servicios
2. Funciones del nivel de Enlace de Datos
3. Redes de Área Local (LAN)
 - Direcciones MAC
 - Ethernet (802.3)
 - Conmutadores (Switches)
4. Protocolo ARP
5. Ejemplo

Contenidos

Tema 1: Redes de Computadores e Internet

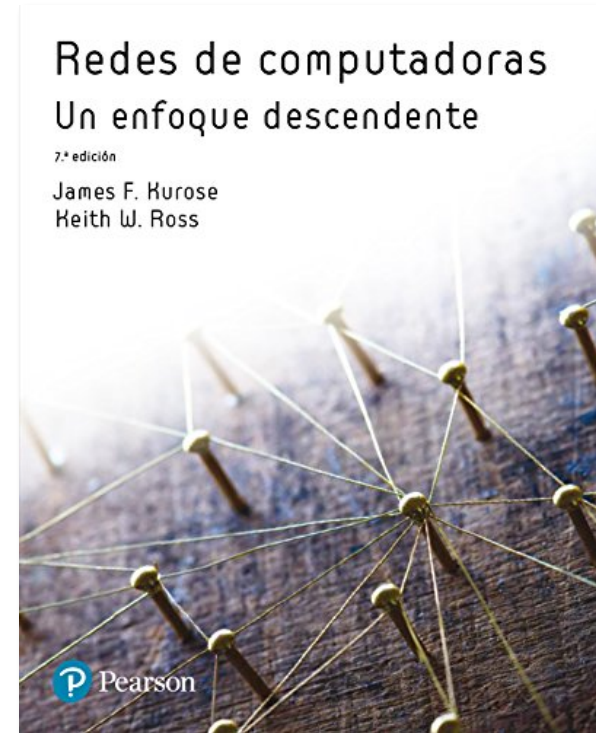
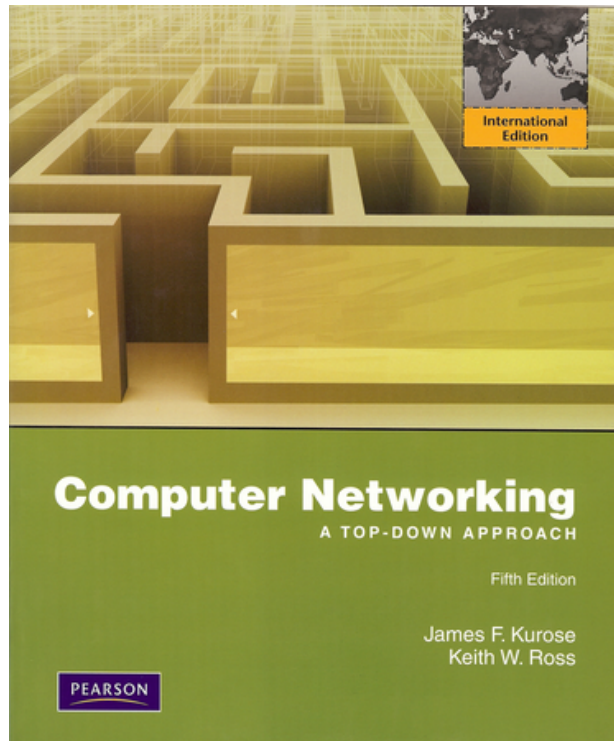
Tema 2: Capa de Aplicación

Tema 3: Capa de Transporte

Tema 4: Capa de Red

Tema 5: Capa de Enlace de Datos





Estas transparencias han sido elaboradas a partir de material con copyright que Pearson pone a disposición del profesorado, a partir del libro:

Jim Kurose, Keith Ross (2010). Computer Networking: A Top Down Approach, 5th edition, Ed. Pearson.

Algunas actualizaciones pertenecen a la última edición:

Jim Kurose, Keith Ross (2017). Redes de Computadoras: Un enfoque descendente, 7ª edición, Ed. Pearson.

Redes de Computadores

Tema 5

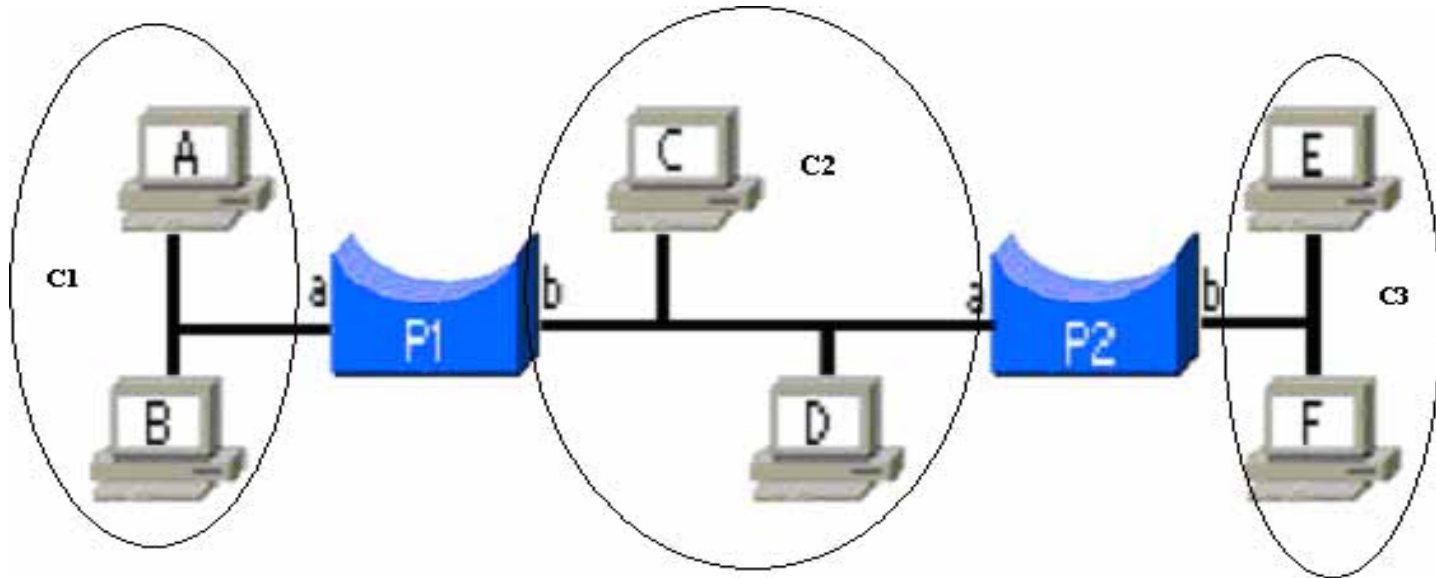
La Capa de Enlace y Redes de Área Local

EJERCICIOS



Problema 1

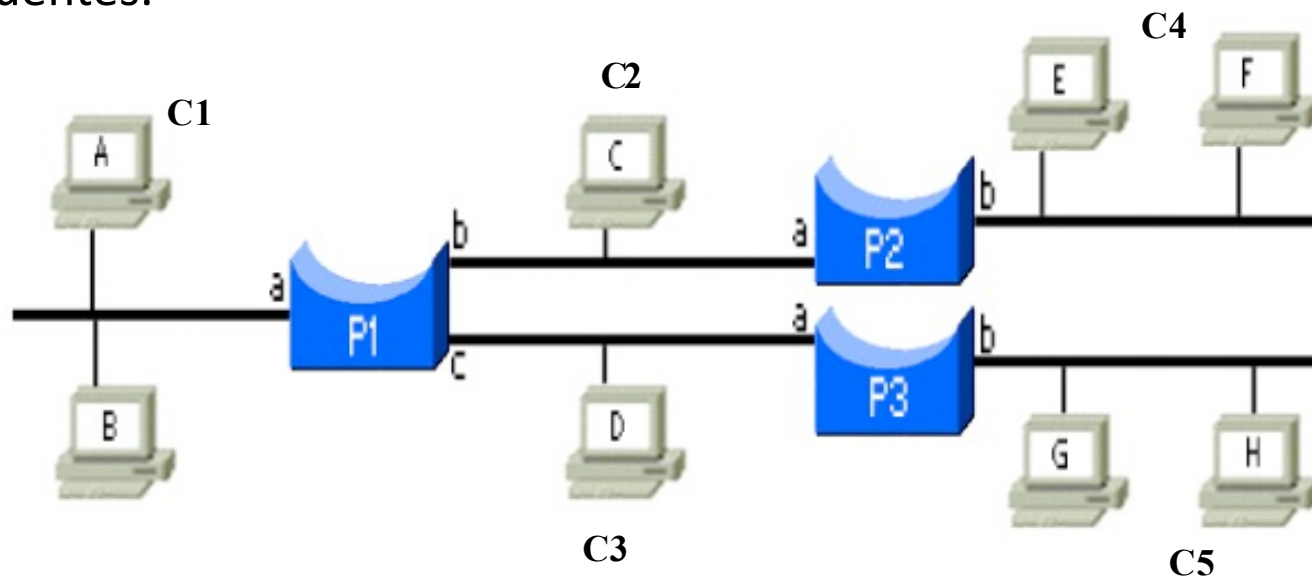
En la red LAN de la figura, considere que inicialmente los puentes P1 y P2 tienen las tablas de direcciones vacías. Indique para la siguiente secuencia de tramas (ordenada) en qué dominios de colisión (anchos de banda) es visible (incluyendo el origen) y el contenido de la tabla de direcciones de los puentes.



- Trama con origen la estación A y destino la estación B.
- Trama con origen la estación D y destino la estación A.
- Trama con origen la estación B y destino la estación D.

Problema 2

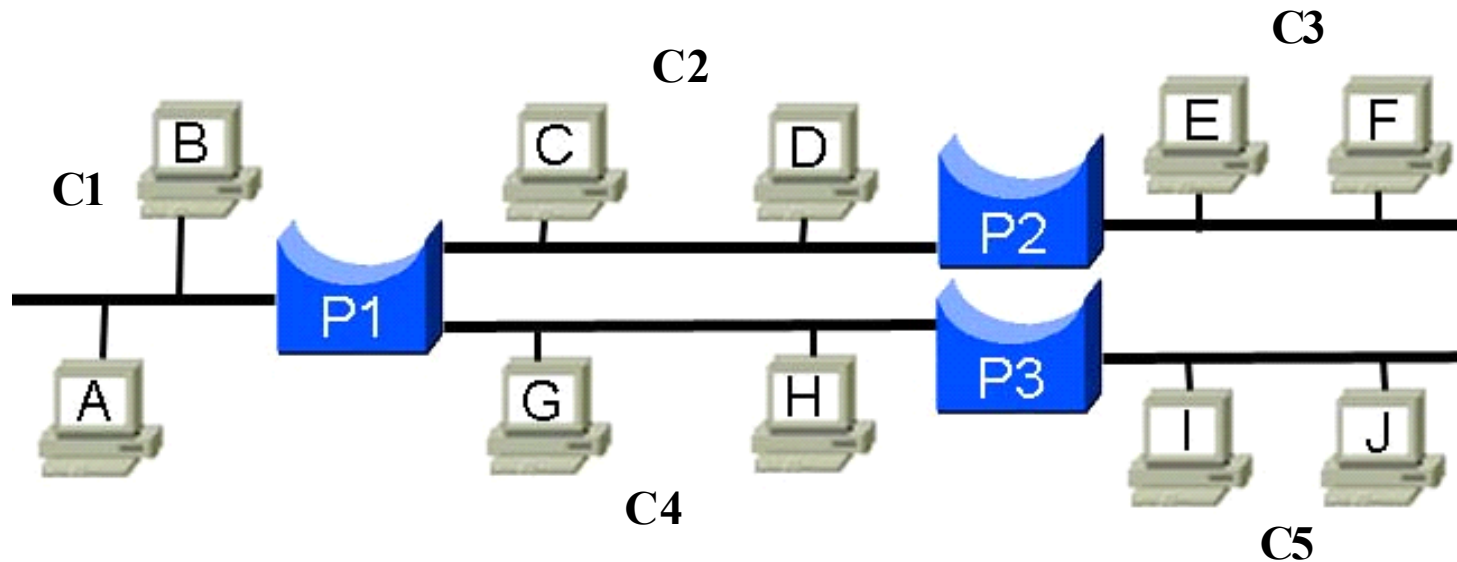
Considérese la red LAN de la figura, en la que todos los puentes tienen sus tablas de direcciones vacías. Las cuestiones a) hasta c) indican el envío de determinadas tramas que forman una secuencia, para cada apartado debe indicarse en qué dominios de colisión (anchos de banda) va a ser visible esa trama (incluido el origen) y el estado de la tabla de direcciones de los tres puentes.



- Trama con origen la estación A y destino la estación E.
- Trama con origen la estación C y destino la estación A.
- Trama con origen la estación D y destino la estación C.

Problema 3

En la red de la figura, considere que inicialmente los puentes P1, P2 y P3 tienen las tablas de direcciones vacías.



a) Indique los dominios de colisión (ancho de banda) existentes.
b) Indique para la siguiente secuencia de tramas (ordenada) en qué dominios de colisión es visible (incluyendo el origen) y el contenido de la tabla de direcciones de los puentes:

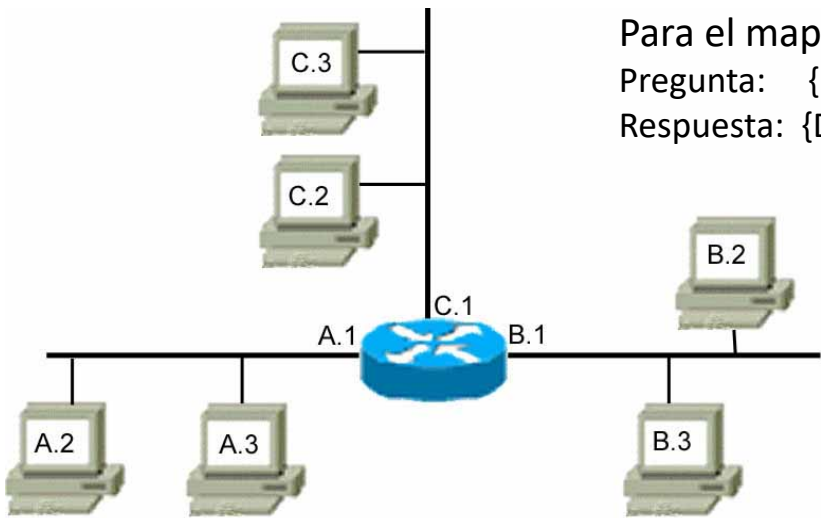
- 1) A envía una trama a B.
- 2) G envía una trama a A.
- 3) D envía una trama a G.

Problema 4

Considere la red de la figura en la que el método para mapear las direcciones de nivel 3 y de nivel 2 es similar a ARP. Todos los routers y nodos tienen las tablas de enrutamiento correctamente configuradas.

Considere además el siguiente formato de trama¹ a utilizar:

{Dir_MAC_destino , Dir_MAC_origen ,[Dir_Red_destino, Dir_Red_origen, DATOS_TRANSPORTE]}



Para el mapeo de direcciones se usa este formato de trama:

Pregunta: {Dir_MAC_destino, Dir_MAC_origen, [¿Quién es Dir_Red?]}

Respuesta: {Dir_MAC_destino, Dir_MAC_origen, [Dir_Red está en Dir_MAC]}

Suponga que en la red no se ha enviado ninguna trama. Responda razonadamente a las preguntas:

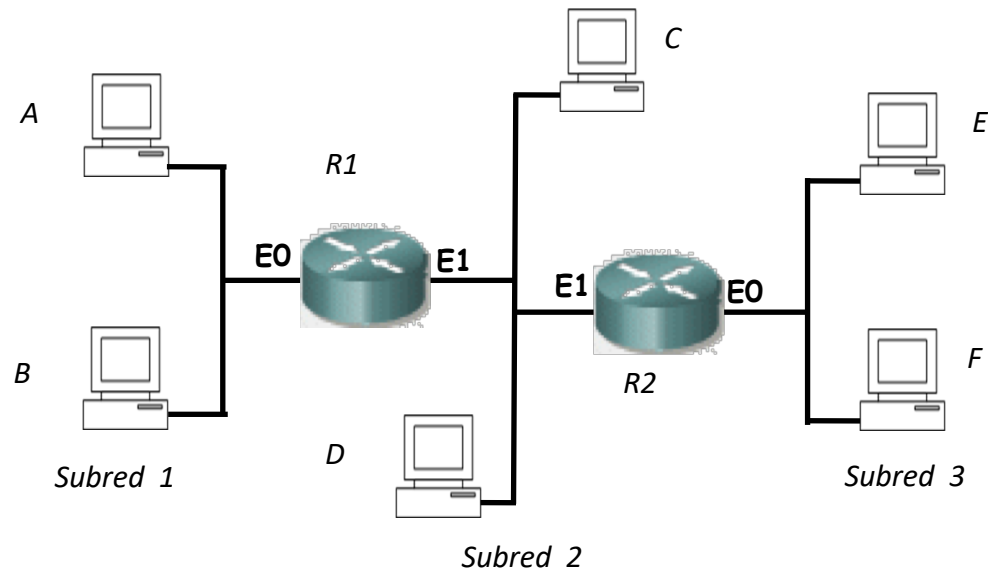
- Indicar la secuencia de tramas (usando el formato sugerido) que se van a suceder para que A.3 envíe un datagrama a A.2
- Repita la pregunta anterior pero en este caso considere que A.3 envía un datagrama a C.2
- Indique si es posible que se envíe la siguiente trama y en qué red (o redes) sería “visible”.

{ Broadcast, MAC_A.2, [¿Quién es C.3?] }

¹ entre “{ }” va la E_PDU de la que sólo muestra de las E_PCI las direcciones MAC, entre “[]” va la E_UD que en este caso corresponde a un protocolo de nivel de red o al protocolo de mapeo de direcciones. Para ambos se muestra la PCI relevante para este ejercicio.

Problema 5

Considere tres redes LAN interconectadas mediante dos routers, como se muestra en la figura:



- Asigne direcciones IP a todos los equipos de las LAN. Para la subred 1 utilice la red 192.168.1.0; para la subred 2 utilice direcciones de la red 192.168.2.0; y para la subred 3 emplee la red 192.168.3.0.
- ¿Hace falta asignar direcciones MAC a todas las tarjetas de red? ¿Por qué?
- Considere el envío de un datagrama IP desde el host E al host B. Si previamente el host E le había enviado otro datagrama a B. ¿Cuál es el contenido de la caché arp de E? Enumere todos los pasos que se realizan para que el datagrama llegue a su destino.
- Repita el apartado (c) suponiendo ahora que E previamente no había enviado ningún tráfico pero F previamente había enviado un datagrama al host B.
- Repita el ejercicio distribuyendo subredes si el bloque CIDR asignado es 192.168.1.0/27

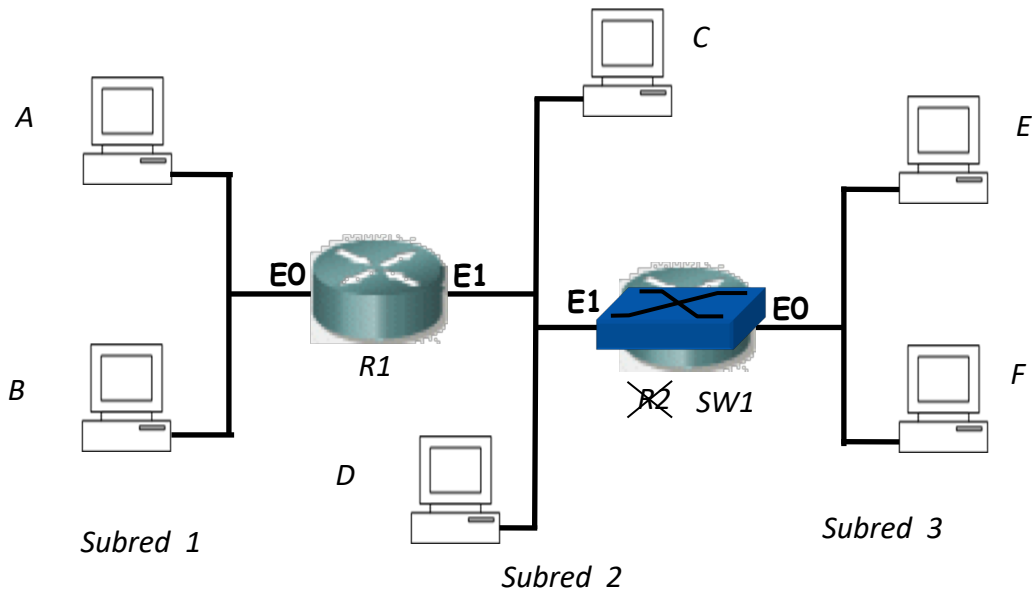
Problema 6

Considere la figura del problema anterior, pero sustituyendo el router R1 por un switch SW1.

- a) ¿Habría que cambiar la configuración IP de algún equipo? ¿Por qué?
- b) ¿Cambiaría su respuesta al apartado c) del problema 5?, en caso afirmativo, indique el cambio y las direcciones MAC de origen y de destino de trama que encapsula tanto al datagrama enviado por E cómo la del recibido por B.
- c) Suponga que E se acaba de encender y quiere enviar un datagrama IP a F. ¿Realizará IP en el host E una consulta ARP para averiguar la dirección MAC de F? ¿Por qué?. Indique las direcciones MAC de origen y de destino de la trama que encapsula al datagrama y lo mismo con la trama que encapsula al datagrama recibido por F.
- d) Suponga que el host A quiere enviar un datagrama IP al host B, y que ni la caché ARP de A contiene la dirección MAC de B ni la caché ARP de B contiene la dirección MAC de A. Suponga además que la tabla de conmutación de SW1 contiene únicamente las direcciones MAC del host B y la dirección MAC de la interfaz E1 de router R2. ¿Enviaré ARP en el host A una solicitud ARP? ¿Qué acciones realizará SW1 una vez que reciba la trama que encapsula al mensaje de solicitud ARP? ¿recibirá también el router R2 esa trama?, en caso afirmativo, ¿reenviará R2 la solicitud ARP hacia la subred 3? Una vez que el host B reciba este mensaje de solicitud ARP, devolverá al host A un mensaje de respuesta ARP. Pero ¿enviaré ARP en el host B una solicitud para preguntar por la dirección MAC de A? ¿por qué?. ¿Qué hará el conmutador S1 una vez que reciba el mensaje de respuesta ARP del host B? ¿Cuántas entradas habrá al final en la tabla de conmutación de SW1.

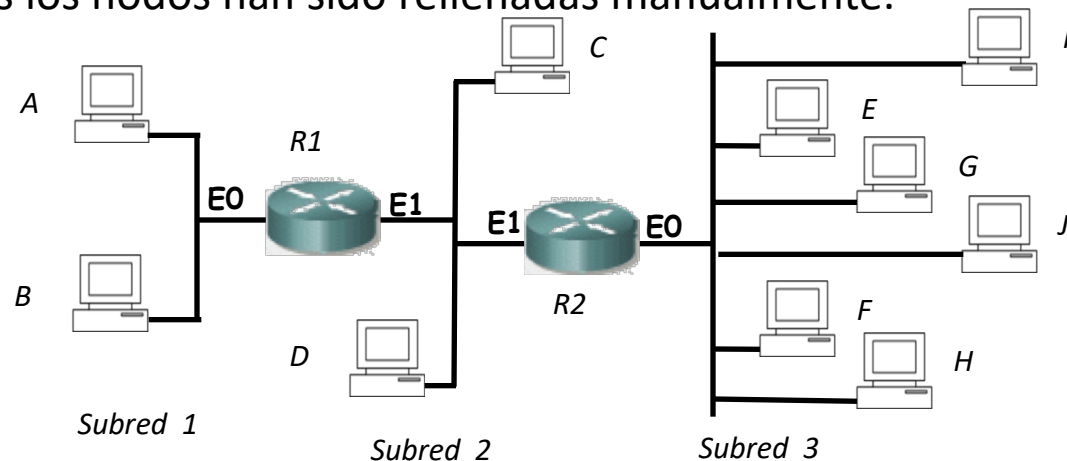
Problema 7

Considere el problema anterior, pero ahora suponga que es el router R2 el que se sustituye por un switch como aparece en la figura. Responda a las preguntas de los apartados (a, b, c y d) del problema anterior en este nuevo contexto. ¿Es posible que la tabla de conmutación del SW1 tenga las entradas que se indican en el apartado d)?, en caso negativo indique cuál sería el contenido de la tabla de conmutación de SW1, teniendo en cuenta que el tráfico anterior ha sido igual al que hubo en el apartado d) del problema anterior.



Problema 8

Para la figura, considere que ha sido asignado el bloque CIDR 193.98.3.0/27 y que las cachés ARP de todos los nodos han sido rellenas manualmente.



Indique la configuración IP y el contenido de la tabla de enrutamiento del host A, de ambos routers y del host F. Suponga que el host A envía un datagrama al host F. Indique las direcciones MAC de origen y de destino contenidas en la trama que encapsula este datagrama IP a medida que la trama es transmitida:

- 1) de A a R1
- 2) de R1 a R2
- 3) desde R2 al host F. Indique también las direcciones IP de origen y de destino del datagrama IP encapsulado dentro de la trama en cada uno de estos instantes de tiempo.

Problema 9

Suponga ahora que el router R1 de la figura del problema anterior se sustituye por un switch SW1. Los hosts A, B, C y D y router R2 se conectan en estrella a este switch.

- a) ¿Es necesario cambiar la configuración del host A?, en caso afirmativo indique la nueva configuración.
- b) ¿Es necesario configurar todas interfaces del SW1? ¿Por qué?, en caso afirmativo indique la configuración.
- c) Suponga que el host A envía un datagrama al host F, al igual que en el problema anterior, indique las direcciones MAC de origen y de destino contenidas en la trama que encapsula a este datagrama IP, así como las direcciones IP de origen y de destino contenidas en este, a medida que la trama se transmite:
 - 1) desde A al SW1,
 - 2) desde el conmutador a router R2 y
 - 3) desde el router R2 a F.