



3º Grado en Ingeniería Informática

Transmisión de Datos y Redes de Computadores

TEMA 3. CAPA DE ENLACE Y REDES DE ÁREA LOCAL (2021-2022)



TEMA 3. Índice

- © **3.1.** Conmutación LAN. (2h)
- © **3.2.** Spanning-Tree Protocol. (1h)
- © **3.3.** Virtual LAN. (1h)

APLICACIÓN

PRESENTACIÓN

SESIÓN

TRANSPORTE

RED

ENLACE

FÍSICO





TDRC

Tema 3.1.

Conmutación LAN

Antonio M. Mora García



Modelos de capas

MODELO OSI

(Open System Interconnection)



APLICACIÓN

Capa 7

PRESENTACIÓN

Capa 6

SESIÓN

Capa 5

TRANSPORTE

Capa 4

RED

Capa 3

ENLACE

Capa 2

FÍSICO

Capa 1



MODELO TCP/IP

APLICACIÓN
(DNS, HTTP, FTP, DHCP, POP)

TRANSPORTE
(TCP, UDP)

INTERNET
(IP, ICMP, RIP, OSPF, BGP)

ACCESO A LA RED FÍSICA
(Ethernet, PPP, Frame Relay)

Cuestiones sobre la capa de enlace

- En la **capa de red** se establece una **comunicación entre dos hosts** cualesquiera. Se **transmiten datagramas desde el host origen**, a través de **enlaces** de comunicaciones, pasando por **conmutadores** (*routers y switches*), **hasta el host destino**.

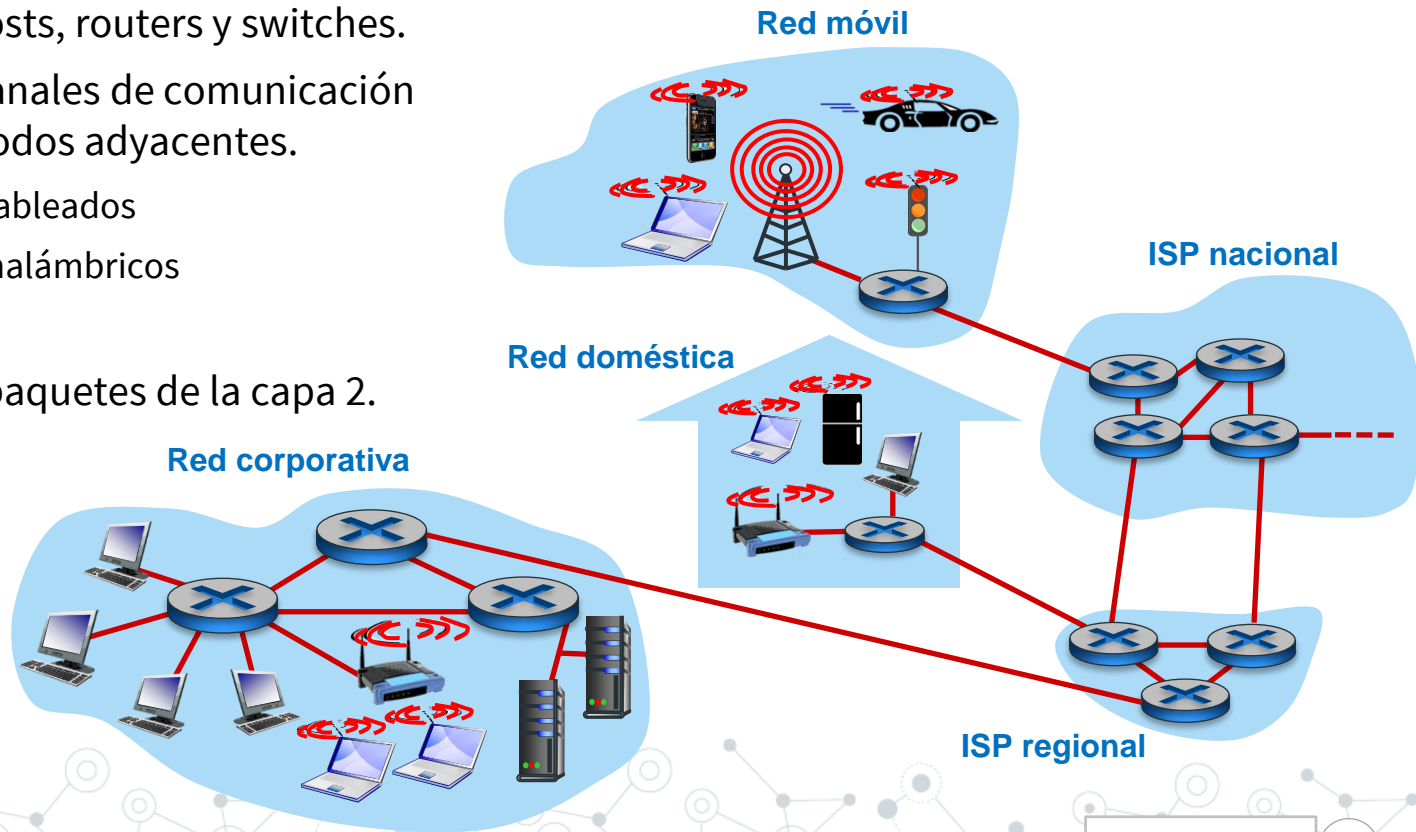
SURGEN VARIAS PREGUNTAS:

- ¿Cómo se **envían los paquetes** a través de cada enlace individual?
- ¿Cómo se **encapsulan los datagramas** de la capa de red **en las tramas** de la capa de **enlace**?
- ¿Qué **protocolos** se aplican en cada uno de los **enlaces**?
- ¿Qué **problemas pueden surgir** en la transmisión o difusión?
- ¿Existe **direccionamiento** en la **capa de enlace**?
- ¿Cómo se **relaciona con el direccionamiento** de la capa de **red**?
- ¿Cuáles son las **diferencias entre un router y un switch**?

Capa de Red y Capa de Enlace

Figura: [Kurose and Ross. Computer Networking: A top down Approach. Slides]

- **Nodos** (*nodes*): hosts, routers y switches.
- **Enlaces** (*links*): canales de comunicación que conectan nodos adyacentes.
 - Enlaces cableados
 - Enlaces inalámbricos
 - LANs
- **Tramas** (*frame*): paquetes de la capa 2.

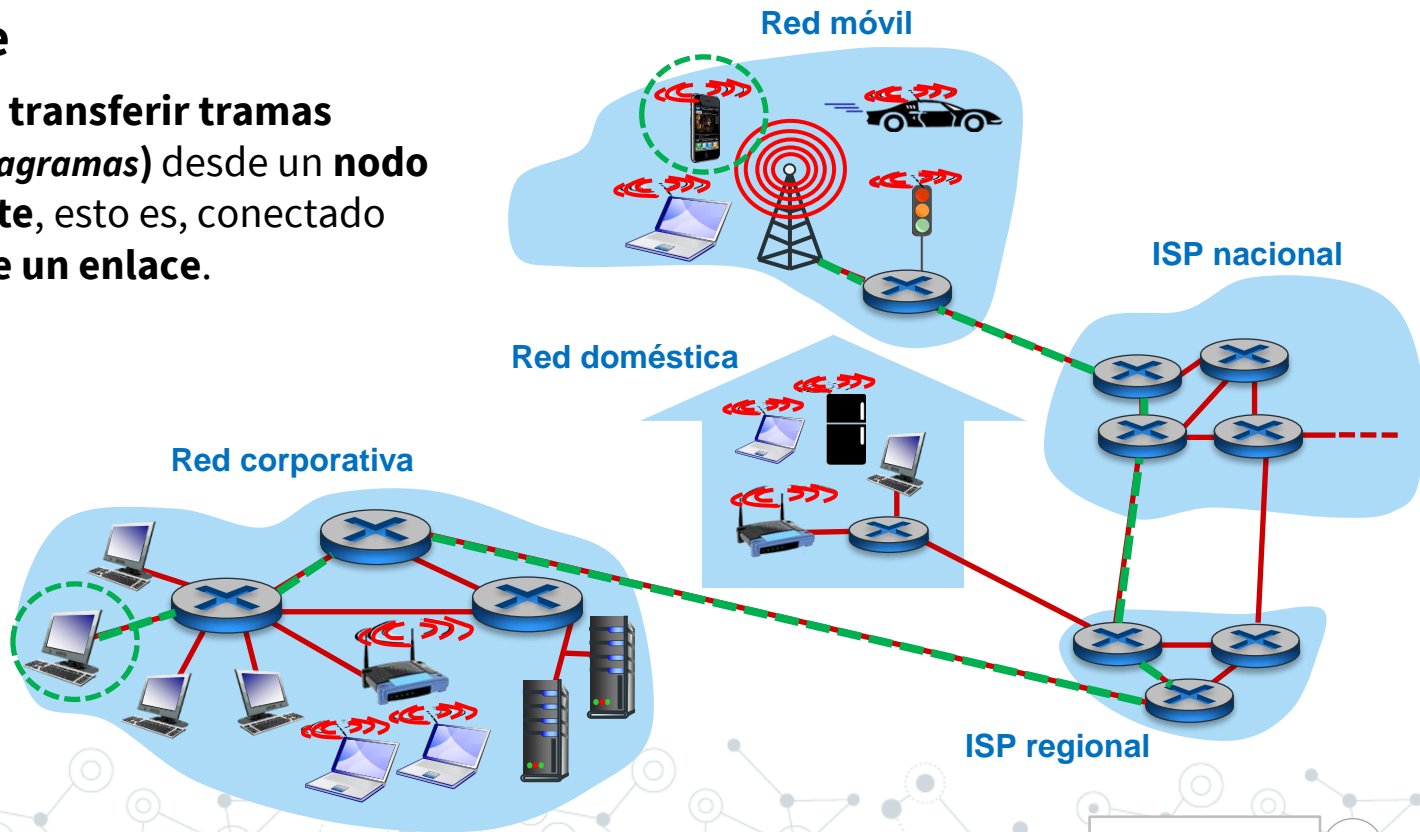


Capa de Red y Capa de Enlace

Figura: [Kurose and Ross. Computer Networking: A top down Approach. Slides]

Capa de enlace

- Responsable de **transferir tramas (conteniendo datagramas)** desde un **nodo a otro adyacente**, esto es, conectado con él **mediante un enlace**.



Capa de Red y Capa de Enlace - Analogía

ENVÍO DE PAQUETES EN UNA RED

- Envío entre dos hosts en diferentes redes.
- Envío datagrama entre diferentes enlaces con diferentes protocolos:
 - Ethernet (subred 1)
 - Frame Relay (subred 2)
 - 802.11 (subred 3)

TRANSPORTE DE PERSONAS

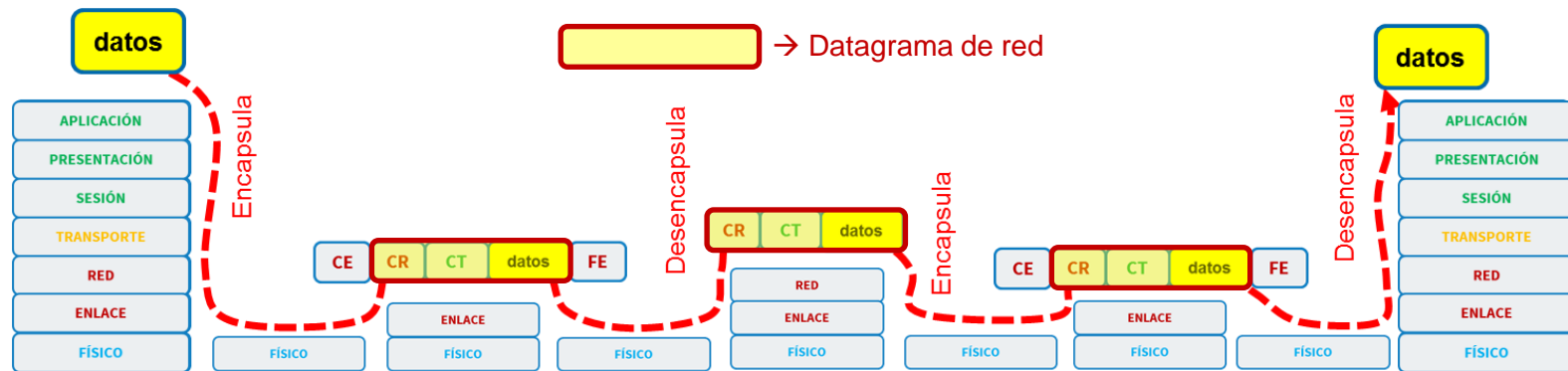
- Viaje desde Granada a Pisa
- Trayectos:
 - Coche: Granada-Aerop. GRX
 - Avión: Aerop. GRX - Aerop. FIUM (Roma)
 - Tren: Roma-Pisa

- *datagrama* ⇔ **viajero**
- *enlace de comunicaciones* ⇔ **trayecto**
- *protocolo de comunicaciones* ⇔ **medio de transporte**
- *algoritmo de enrutamiento* ⇔ **agente de viajes**

Servicios de la Capa de Enlace

Encapsulado/Entramado

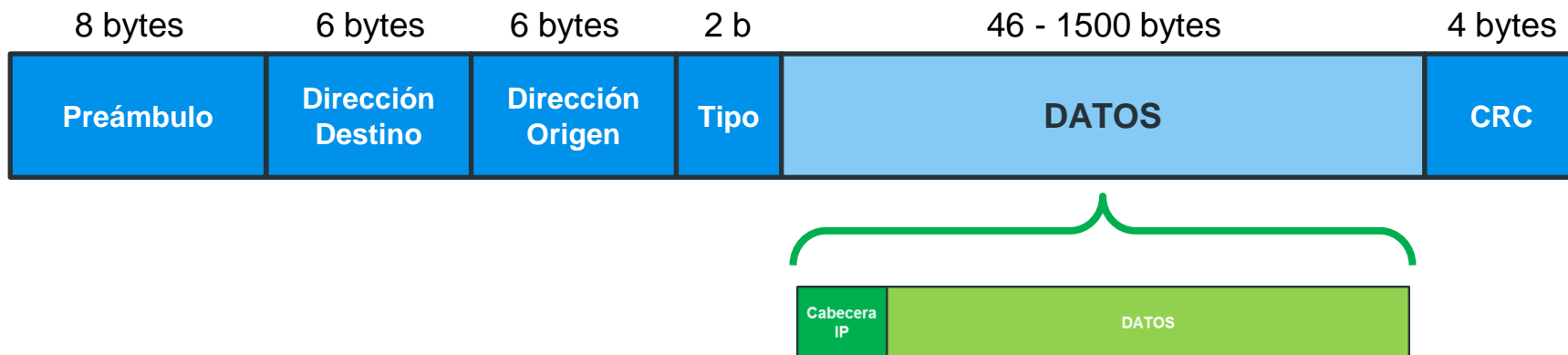
- Se encapsula el **datagrama** de la **capa de red dentro** de una **trama** de la **capa de enlace**. Serían los datos de dicha trama. Tendrá una cabecera y una cola (delimitación de la trama).
- El resto de campos de la trama dependerán del protocolo.



Servicios de la Capa de Enlace

Encapsulado/Entramado

- Ejemplo: Trama Ethernet



Servicios de la Capa de Enlace

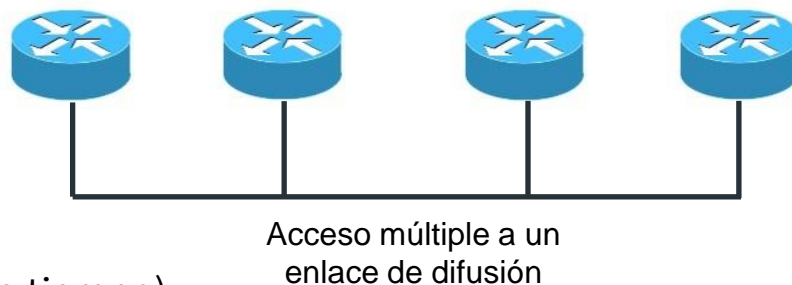
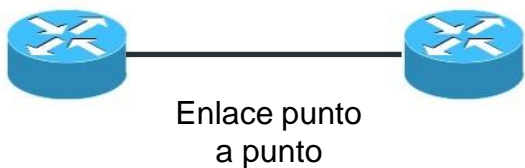
Entrega fiable

- Se **garantiza** que las **tramas llegan al destino**, que lo hacen en el **orden en el que se envían** y que lo hacen **sin errores**.
- Se basa en mecanismos de **comprobación de errores**, contadores de tiempo, **confirmaciones** y **retransmisiones**.
- Se **aplica en** medios con alta tasa de errores, como los **enlaces inalámbricos**.
- Se **soluciona** el problema **en el enlace** en el que se produce → se ahorra tener que solucionarlo en la capa de transporte o aplicación (más costoso).
- En **medios con baja tasa de error** (cable par trenzado, coaxial, fibra) es ineficiente → **no lo aplican** muchos **protocolos** de nivel de enlace.

Servicios de la Capa de Enlace

Acceso al Medio/Acceso al Enlace

- Se tiene un **protocolo** llamado **MAC** (*Medium Access Control*):
 - Si el enlace conecta dos nodos (emisor y receptor) directamente, se transmite si el enlace está inactivo (si el canal está vacío).
 - Si hay varios nodos compartiendo un enlace (difusión), se produce un problema de acceso múltiple. El protocolo coordinará/arbitrará la transmisión de tramas de los nodos.



- **Full-duplex** (se transmite y recibe al mismo tiempo).
- **Half-duplex** (se transmite o se recibe por el enlace alternativamente).

Servicios de la Capa de Enlace

Acceso al Medio/Acceso al Enlace

- Protocolos de **particionamiento del canal**:
 - División en tiempo → se divide en marcos temporales y cada estación/nodo transmite en un marco ⇔ Se usa todo el canal durante un tiempo.
 - División en frecuencia → se divide el canal en diferentes frecuencias, cada una con una parte del ancho de banda ⇔ Se tienen muchos canales simultáneos más pequeños que las estaciones usan a la vez.
- Protocolos de **acceso aleatorio**:
 - Cada estación puede transmitir sobre el canal en cualquier momento → hay que arbitrar el acceso para que no haya colisiones entre los paquetes.
 - ALOHA, ALOHA ranurado, CSMA, CSMA CD, CSMA CA.
- Protocolos de **toma de turnos**:
 - Un maestro va dando turnos para transmitir o bien las estaciones se van pasando un testigo que les permite hacer la transmisión.

Servicios de la Capa de Enlace

Detección y corrección de errores

- Se pueden producir **alteraciones en los datos** a nivel de bit (atenuación de señales, ruido electromagnético).
- Muchos **protocolos** de capa de enlace **proporcionan mecanismos** para **detectar errores**.
- El **emisor incluye bits** para la **comprobación** y el receptor realiza dicha comprobación.
- **Implementación en hardware** → muy rápida.
- La **corrección** implica **incluir información** en la transmisión que permita **reconstruir** las **partes de la trama** en las que se hayan detectado errores.

Servicios de la Capa de Enlace

Detección y corrección de errores

- **Comprobaciones de paridad** → se tiene un único bit de paridad.
- **Suma de comprobación** → se transforman los datos en números enteros y se suman, se calcula el complemento a 1 y esa será la suma de comprobación, que deberá contrastar el receptor con los datos que reciba.
- **Comprobación de Redundancia Cíclica (CRC)** → se hacen cálculos con los bits de los datos como si fueran los coeficientes de polinomios.

Direccionamiento MAC

- El direccionamiento de la capa de enlace se basa en **direcciones MAC** (direcciones físicas).
- Las direcciones son **únicas a nivel global** (en todo Internet).
- Una **MAC se asocia** con el **adaptador/tarjeta de red**, es decir, con una interfaz de un nodo de la red (igual que las IPs).
- **¡OJO! Los switches no tienen asociadas direcciones MAC en sus interfaces** → deben ser transparentes para el resto de nodos de la red.
- Son **asignadas por el IEEE**, que da a **cada fabricante un conjunto fijo de 24 bits** (OUI, *Organizer Universal Identifier*) y le da autonomía para fabricar **2^{24} adaptadores de red con MACs diferentes**.

Direccionamiento MAC

- Las MAC tienen **48 bits** (6 bytes) y se representan con **6 parejas de números hexadecimales**.

Ejemplo: 1A-2B-3C-4D-5E-6F

- Por defecto son **direcciones** fijas, **grabadas a nivel hardware** (aunque se pueden cambiar por software).
- Cuando un **host recibe una trama**, **comprobará** si la **dirección MAC de destino** es la de su adaptador:
 - Si lo es la procesará: extraerá el datagrama y lo pasará hacia arriba en la pila de protocolos.
 - Si el destino es otra MAC, descartará la trama.
- La **dirección MAC de difusión** es **FF-FF-FF-FF-FF-FF**. Todo host que la reciba la procesará.

Direcccionamiento MAC

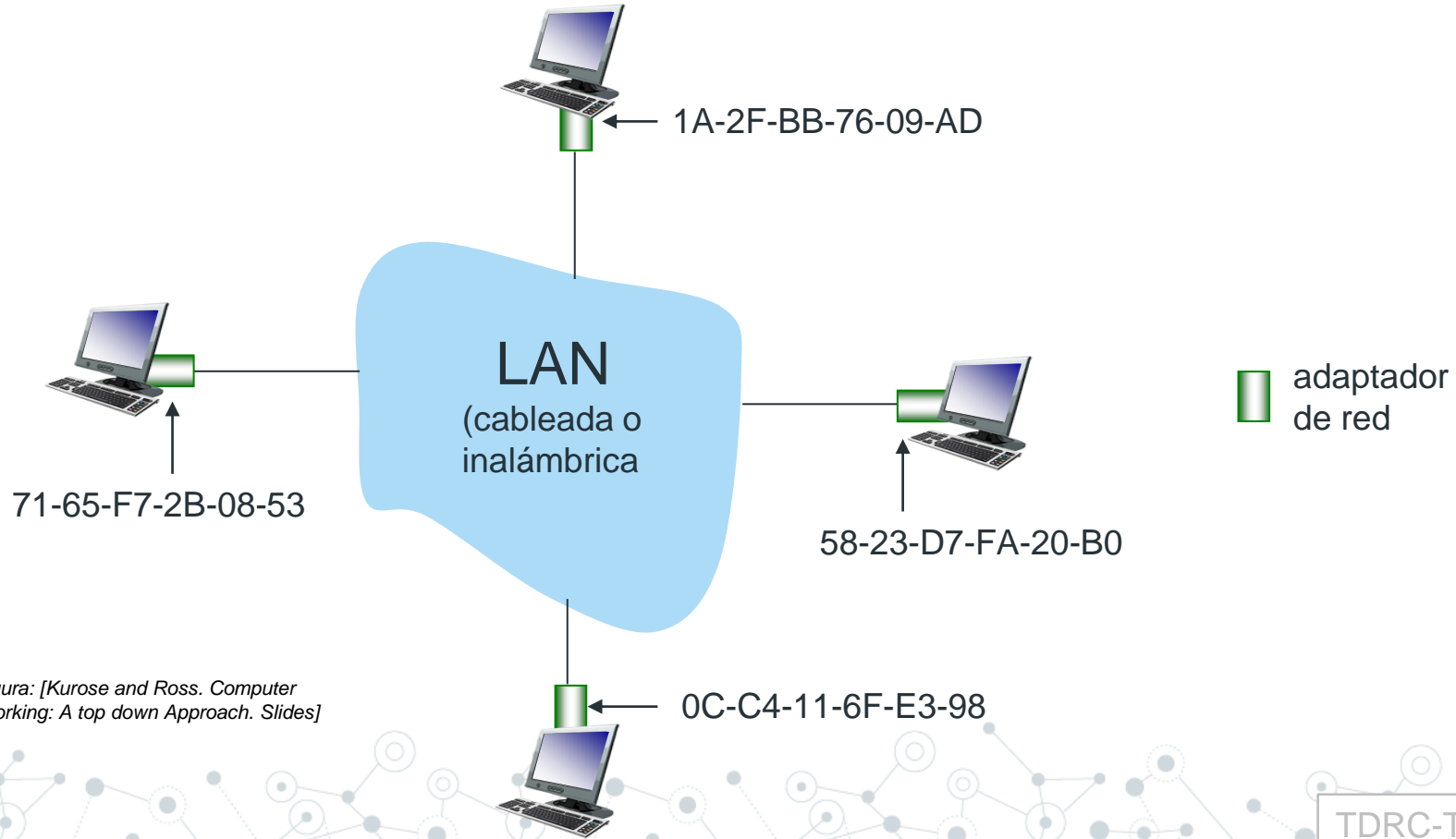


Figura: [Kurose and Ross. Computer Networking: A top down Approach. Slides]

Direccionamiento MAC

IPv4	MAC
Son direcciones lógicas	Son direcciones físicas
No pertenecen a la interfaz	Pertenecen a la interfaz
32 bits	48 bits
Tienen dos partes (máscara): <ul style="list-style-type: none">• Red• Host	Tienen dos partes (IEEE): <ul style="list-style-type: none">• Fabricante (24 bits)• Número de serie (24 bits)
Su localización global se hace gracias a la asignación de IPs jerárquica IANA → RIR → LIR → usuario	No puede localizarse globalmente
Envío de Datagramas	Envío de Tramas
Analogía persona: Dirección postal	Analogía persona: DNI

ARP (Address Resolution Protocol)

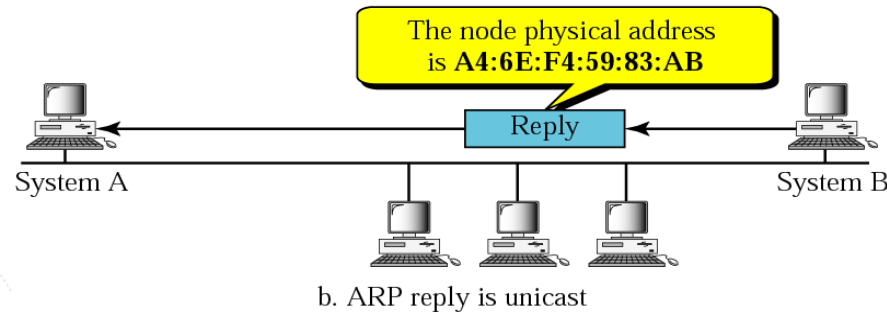
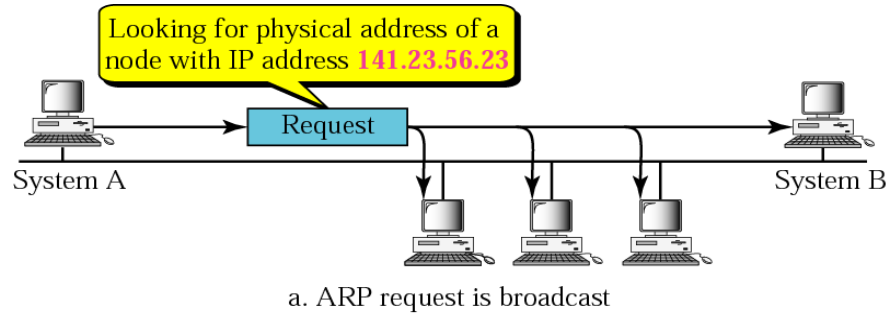
- Es el **protocolo de resolución de direcciones** (RFC 826).
- **Asocia direcciones IP con direcciones MAC** para el mismo adaptador.
- Cada **host o router** almacena una **Tabla ARP** con las correspondencias IP \Leftrightarrow MAC.
- Se asocia un **TTL** (*time to live*) **a cada entrada de la tabla**, pasado ese tiempo (20 minutos habitualmente) se borrará.
- **ARP** resuelve **direcciones únicamente dentro de la misma subred**.

PREGUNTA: ¿Si las MAC son fijas por qué será necesario un TTL en la tabla ARP?



ARP (Address Resolution Protocol)

- Proceso:
 - **ARP Request** enviado por **broadcast a todos los equipos** de la subred.
 - **ARP Reply** que **sólo envía el equipo** que **tiene la MAC e IP** por la que se ha preguntado **al equipo origen** del ARP Request.



En el ARP Request (sólo) el equipo de destino aprende la IP/MAC del que hace la petición

ARP (Address Resolution Protocol)

TRAMA 1 - REQUEST

Frame 11 (42 bytes on wire, 42 bytes captured)
Arrival Time: Dec 17, 2002 21:03:27.866657000
Time delta from previous packet: 0.026560000 seconds
Time relative to first packet: 2.063290000 seconds
Frame Number: 11
Packet Length: 42 bytes
Capture Length: 42 bytes
Ethernet II, Src: 00:50:22:00:c8:0b, Dst: ff:ff:ff:ff:ff:ff
Destination: ff:ff:ff:ff:ff:ff (Broadcast)
Source: 00:50:22:00:c8:0b (ZONET_00:c8:0b)
Type: ARP (0x0806)
Address Resolution Protocol (request)
Hardware type: Ethernet (0x0001)
Protocol type: IP (0x0800)
Hardware size: 6
Protocol size: 4
Opcode: request (0x0001)
Sender MAC address: 00:50:22:00:c8:0b (ZONET_00:c8:0b)
Sender IP address: 192.168.2.36 (192.168.2.36)
Target MAC address: 00:00:00:00:00:00 (00:00:00_00:00:00)
Target IP address: 192.168.2.250 (192.168.2.250)

TRAMA 2 - REPLY

Frame 12 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)
Arrival Time: Dec 17, 2002 21:03:27.868455000
Time delta from previous packet: 0.001798000 seconds
Time relative to first packet: 2.065088000 seconds
Frame Number: 12
Packet Length: 60 bytes
Capture Length: 60 bytes
Ethernet II, Src: 00:09:43:7e:bb:9e, Dst: 00:50:22:00:c8:0b
Destination: 00:50:22:00:c8:0b (ZONET_00:c8:0b)
Source: 00:09:43:7e:bb:9e (Cisco_7e:bb:9e)
Type: ARP (0x0806)
Trailer: 00000000000000000000000000000000...
Address Resolution Protocol (reply)
Hardware type: Ethernet (0x0001)
Protocol type: IP (0x0800)
Hardware size: 6
Protocol size: 4
Opcode: reply (0x0002)
Sender MAC address: 00:09:43:7e:bb:9e (Cisco_7e:bb:9e)
Sender IP address: 192.168.2.250 (192.168.2.250)
Target MAC address: 00:50:22:00:c8:0b (ZONET_00:c8:0b)
Target IP address: 192.168.2.36 (192.168.2.36)

OUI

ARP (Address Resolution Protocol)

PREGUNTA:

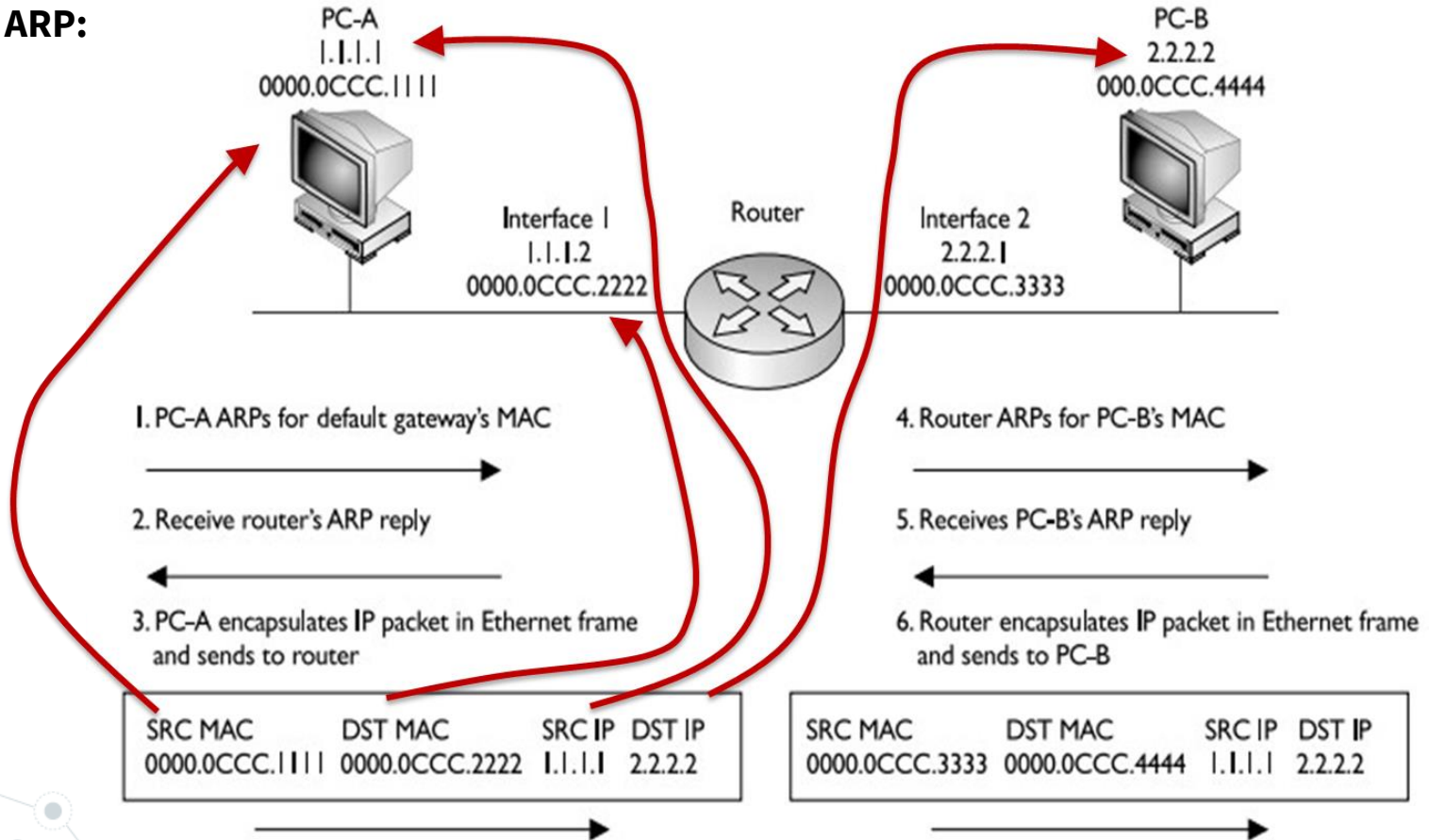


Si los routers impiden la propagación de broadcast y ARP Request tiene como dirección de destino la de broadcast ff:ff:ff:ff:ff:ff, entonces ¿cómo una estación PC-A puede intercomunicarse con otra de destino PC-B situada en otra red (separadas por un router) si no puede averiguar su MAC?

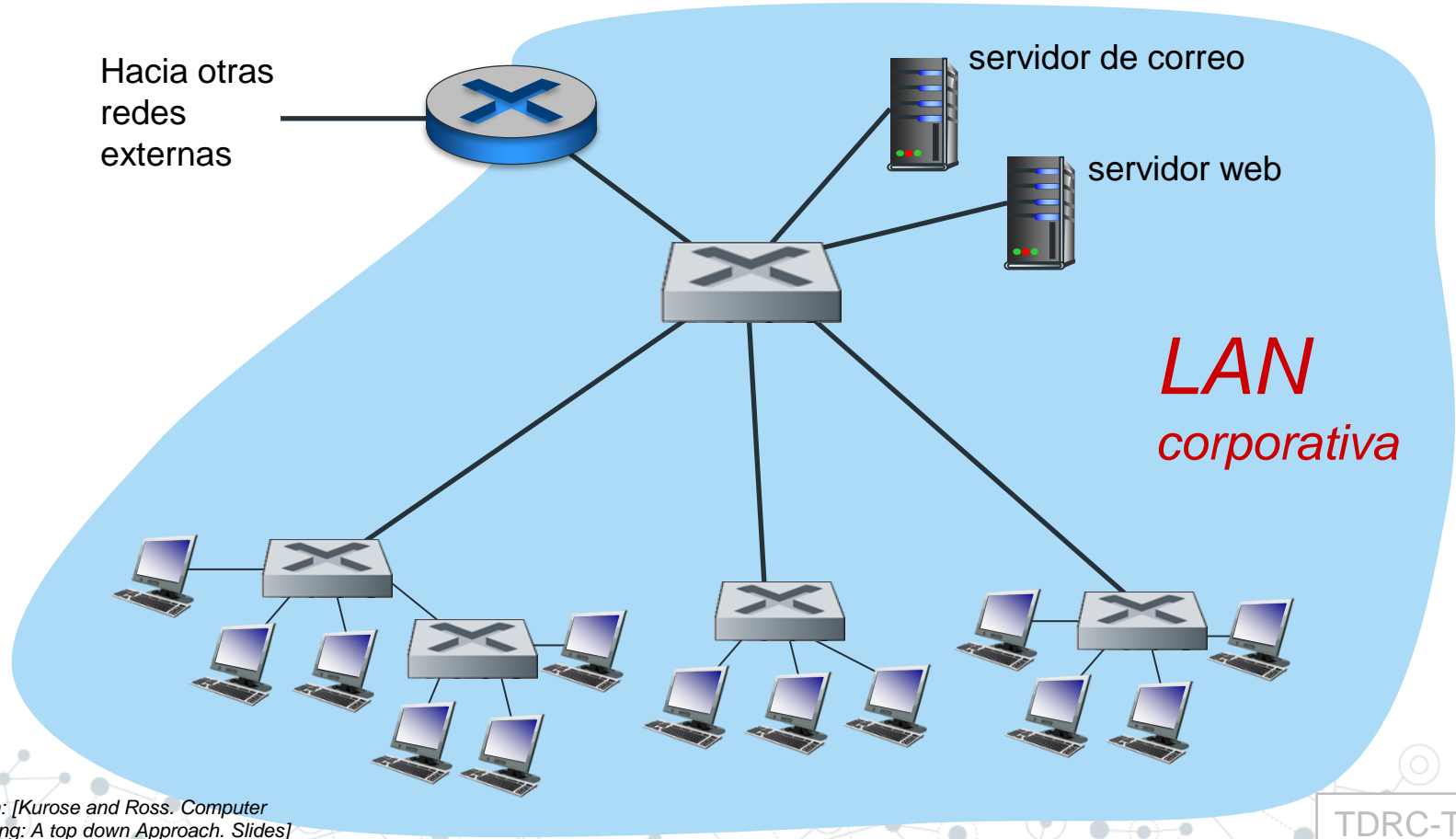
Es decir, ¿qué MAC destino pondrá la estación origen en la trama a enviar?

ARP (Address Resolution Protocol)

PROXY ARP:



Redes de Área Local Conmutadas



Redes de Área Local Conmutadas

- Las **LAN** son las **redes** más **extendidas**, sobre todo a **nivel corporativo**.
- Son redes en las que se incluyen **switches** (conmutadores) para **conectar los equipos** entre sí.
- Se crean **subgrupos de equipos**, dentro de la **misma red**.
- Los **switches son 'transparentes'** para los routers y los demás equipos de la red.

Switch (Conmutador)

- Opera a **nivel de capa de enlace** → utiliza **direccionamiento MAC**.
- Las **tramas pasan a través** de él y hace reenvíos → **Tabla de Conmutación** (con direcciones MAC de destino y puertos/interfaces por los que se deben enviar las tramas para alcanzarlas).
- Tiene mecanismos para **evitar** las **colisiones** en los enlaces que conecta.
- Puede **ajustar la velocidad de transmisión** dependiendo de la **capacidad del enlace** por el que se va a transmitir (*buffer*).
- Permite conectar **enlaces heterogéneos** (diferentes medios físicos, capacidades diferentes).



Switch (Conmutador)

Reenvío y filtrado

- El reenvío se basa en la **tabla de conmutación**: Dirección MAC - Interfaz
- Si una **trama llega a la interfaz x del switch** con **destino una MAC AA-BB-CC-DD-EE-FF**:
 - Si **no existe una entrada** en la tabla para esa MAC → el switch envía la trama por todas las interfaces excepto por la x (hace difusión de la trama).
 - Si **existe una entrada** en la tabla para esa MAC con la **interfaz x** → el switch descarta la trama porque habrá llegado a su destino (que estará en ese mismo enlace).
 - Si **existe una entrada** en la tabla para esa MAC con la **interfaz y** → el switch reenvía la trama por la interfaz y.
- En realidad las **tramas no se reenvían directamente**, sino que **se ponen en el buffer de salida** de las interfaces correspondientes, para no superar la capacidad del enlace (si está ocupado).

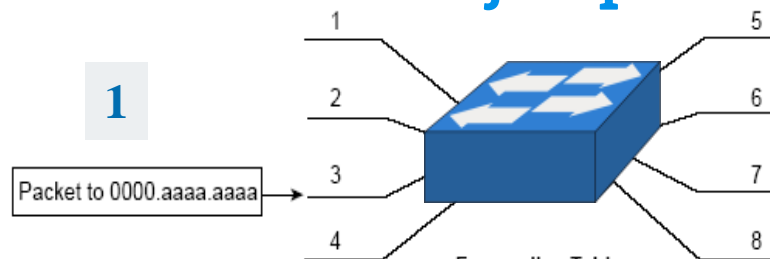
Switch (Conmutador)

Auto-aprendizaje

- Los switches **construyen su tabla de conmutación** de forma **automática**:
 - Inicialmente está vacía.
 - Para cada trama que recibe por un interfaz, apunta la MAC de origen, dicho interfaz de llegada y la hora. Todos los hosts de ese segmento de red que envíen algo quedan registrados.
 - El switch borra de la tabla las entradas pasado un **tiempo de envejecimiento** (*aging*).
- Los **switches** por defecto **son** dispositivos **plug and play**, no necesitan configuración.
- Facilitan la **detección** de **adaptadores** funcionando **mal o cables rotos** y permiten su **gestión automática** (se inhabilita la interfaz correspondiente y el resto de la red sigue operando).

Switch (Conmutador) – Escenario de ejemplo

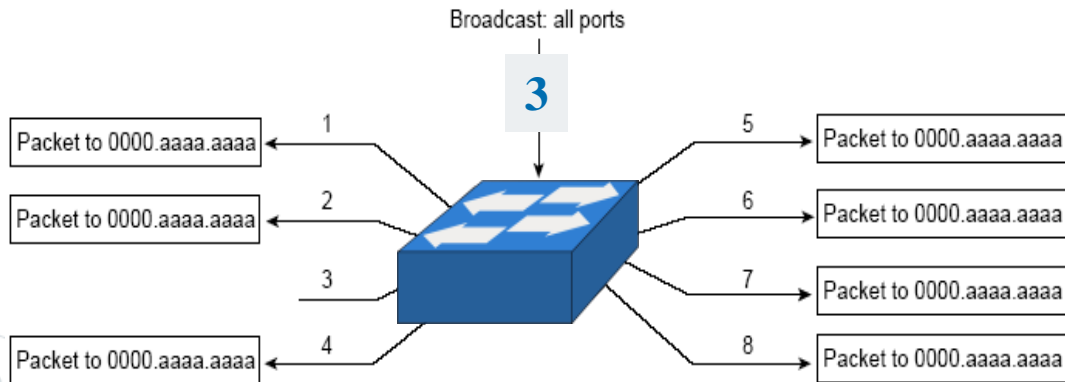
- 1) Cuando llega una trama, el switch examina la dirección MAC destino y sólo la reenvía al puerto donde esté registrada dicha MAC destino.
- 2) Para ello usa una Tabla de reenvío en donde se asocia direcciones MAC con puertos.
- 3) Si la MAC destino no aparece en su Tabla de reenvío, entonces reenvía la trama a todos los puertos (excepto el de origen).



2

0000.aaaa.aaaa ?

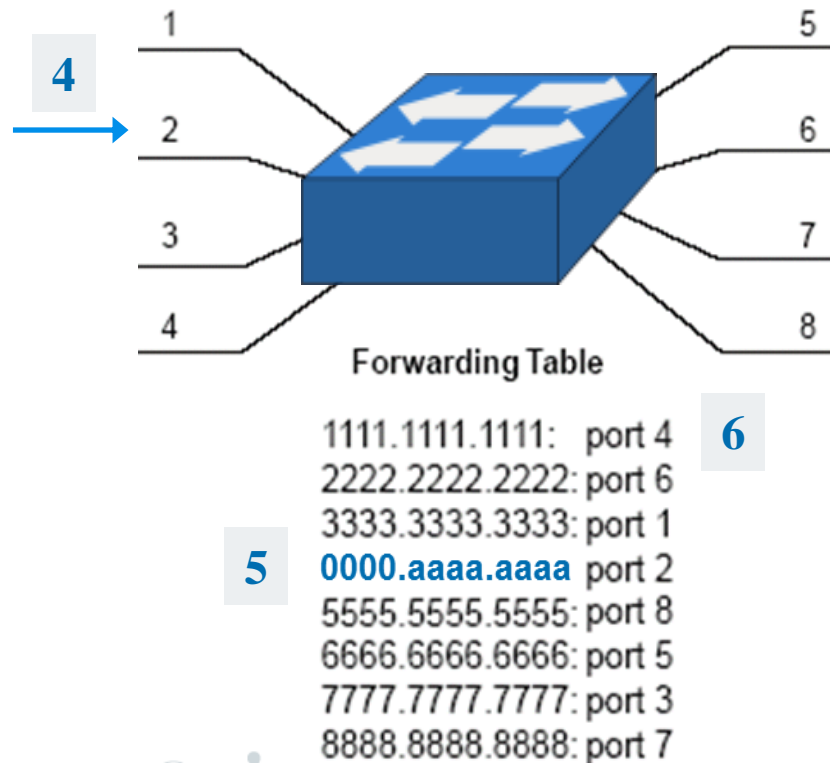
1111.1111.1111:	port 4
2222.2222.2222:	port 6
3333.3333.3333:	port 1
4444.4444.4444:	port 2
5555.5555.5555:	port 8
6666.6666.6666:	port 5
7777.7777.7777:	port 3
8888.8888.8888:	port 7



Switch (Conmutador) – Escenario de ejemplo

- 4) Cuando el host destino recibe una trama que va dirigida a él (o con dirección de broadcast) responderá al host origen.
- 5) Así con la respuesta, el switch descubre la MAC del host destino y la asocia en su tabla de reenvío con el puerto por el que la está recibiendo.
- 6) Después de un cierto tiempo de aprendizaje el switch contará con una tabla de reenvío completa que albergará todas las MAC y los puertos. En esta tabla aparecerán todos los equipos que en algún momento hayan enviado un mensaje.

***** Todo esto se consigue de forma transparente para los hosts y el switch y sin tener que configurar nada. *****



Ejemplo

ARP y Conmutación LAN

Router impide
propagación
de broadcast

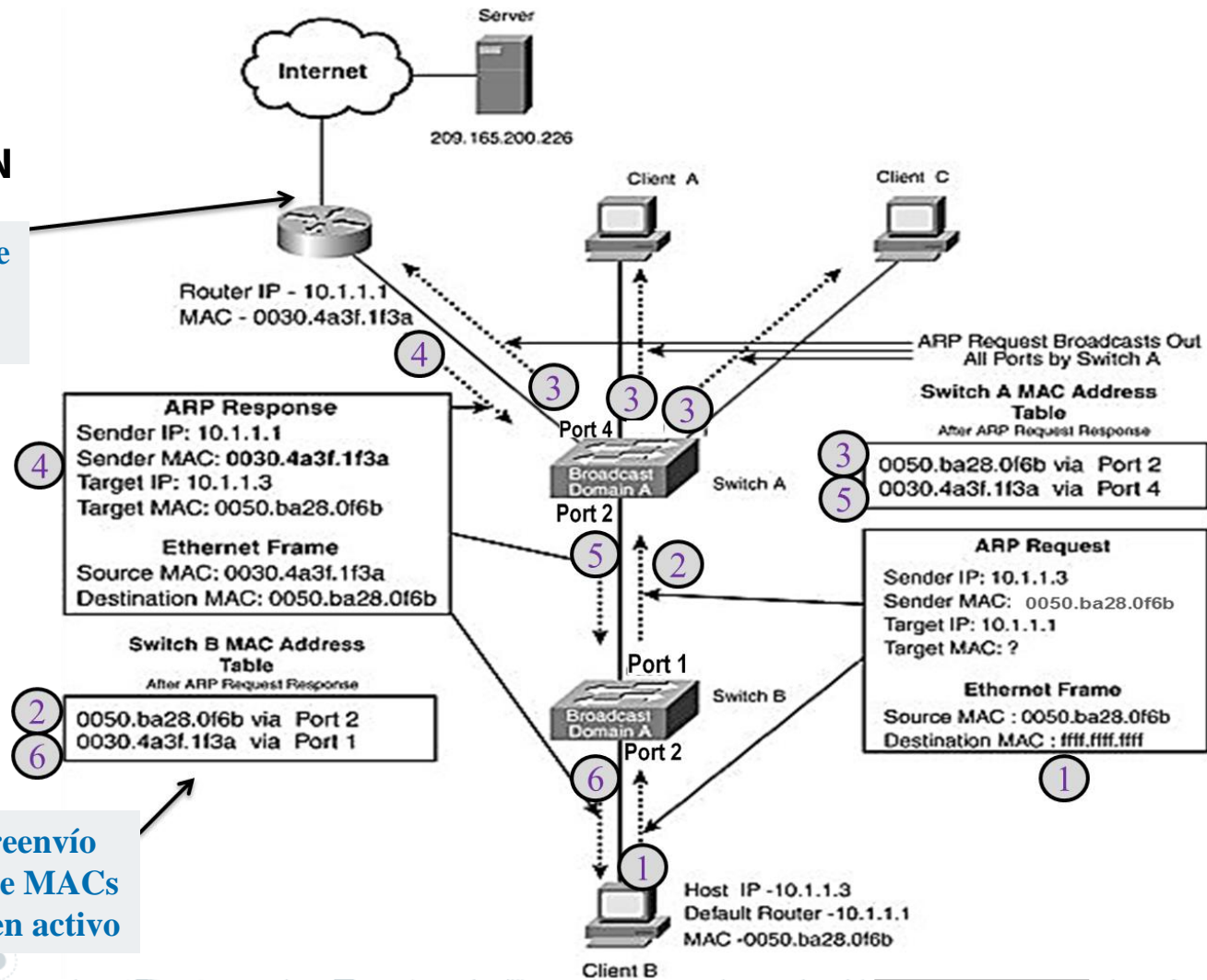


Tabla de reenvío
sólo contiene MACs
de equipos en activo

Router vs Switch

Router	Switch
Opera entre redes	Opera en enlaces
Pocos puertos	Muchos puertos
Conecta switches	Une estaciones finales
Segmenta o aísla tráfico y usuarios de redes distintas. También las interconecta	Se usa para unir usuarios y permitir su intercomunicación dentro de una misma red
No permite el paso de broadcast	Permite el paso de broadcast
Hay que configurarlo	No hace falta configurarlo para que funcione (conmutación transparente LAN)
Enruta entre redes	Conmuta entre estaciones/hosts

Router vs Switch

Router	Switch
Uso de tabla de enrutamiento (red destino y próximo salto)	Uso de tabla de conmutación/reenvío (MAC destino y puerto de salida)
Basado en microprocesador y software	Basado en hardware
Reconoce las IPs	Solo reconoce las MACs
Lento: Modifica las cabeceras de capa de red y encapsula/desencapsula	Muy rápido: No modifica cabeceras ni encapsula/desencapsula
Funcionalidades: NAT, DHCP, Listas de control de acceso, enrutamiento por origen, etc.	Funcionalidades: VLAN, QoS, Spanning-Tree Protocol, etc.

Bibliografía

- James F. Kurose, Keith W. Ross. Redes de computadoras. Un enfoque descendente. 7º Edición. Editorial Pearson S.A., 2017.
- P. García-Teodoro, J.E. Díaz-Verdejo, J.M. López-Soler. Transmisión de datos y redes de computadores, 2ª Edición. Editorial Pearson, 2014.
- Behrouz A. Forouzan. Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 4º Edición. Editorial Mc Graw Hill 2007.
- Michael Valentine; Keith Barker. Cisco CCNA Routing and Switching 200-120 Exam Cram, Fourth Edition, Video Enhanced Edition, Pearson IT Certification.
- Ernesto Ariganello. Redes Cisco: guía de estudio para la certificación CCNA Routing y Switching.
- ARP, An Ethernet Address Resolution Protocol, RFC 826 <https://tools.ietf.org/html/rfc826>
- Proxy ARP <https://tools.ietf.org/html/rfc826>

The background of the slide features a complex, light gray network pattern. It consists of numerous small circles, some of which are solid gray and others are hollow with a gray outline. These circles are interconnected by a web of thin, light gray lines, creating a dense, interconnected mesh that covers the entire slide area.

¿Alguna duda?