

Tema 4.- Nivel de Enlace

*Dr. Daniel Morató
Redes de Computadores
Ingeniero Técnico en Informática de Gestión, 2º curso*

Material parcialmente adaptado del libro *Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet*, 3ª edición. Jim Kurose, Keith Ross, Ed. Addison-Wesley, Julio 2004

Nivel de Enlace

- Introducción
- Servicios
- Tipos de enlaces
- Protocolos de acceso al medio
 - Partición de canal
 - Acceso aleatorio (CSMA/CD)
 - Por turnos
- Ethernet
- ARP: comunicación IP en una LAN
- Comunicación entre diferentes redes

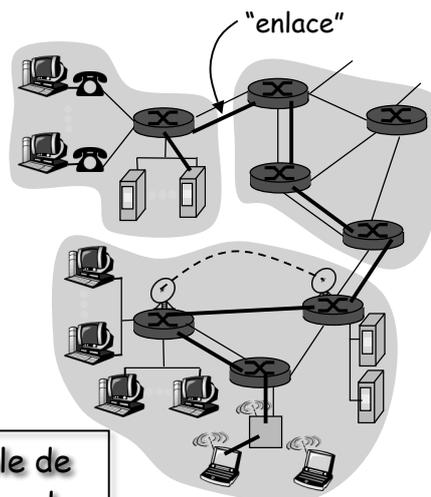
Nivel de Enlace

- Introducción
- Servicios
- Tipos de enlaces
- Protocolos de acceso al medio
 - Partición de canal
 - Acceso aleatorio (CSMA/CD)
 - Por turnos
- Ethernet
- ARP: comunicación IP en una LAN
- Comunicación entre diferentes redes

Nivel de Enlace: Introducción

Terminología:

- Hosts y routers son **nodos**
- Los canales de comunicación que conectan nodos adyacentes en un camino de comunicaciones son **enlaces**
- El paquete (PDU) de nivel 2 se llama **trama**
- Diferentes protocolos en diferentes enlaces y diferentes servicios



El nivel de enlace es responsable de transferir un datagrama de un nodo a otro adyacente a través de un enlace

Nivel de Enlace

- Introducción
- Servicios
- Tipos de enlaces
- Protocolos de acceso al medio
 - Partición de canal
 - Acceso aleatorio (CSMA/CD)
 - Por turnos
- Ethernet
- ARP: comunicación IP en una LAN
- Comunicación entre diferentes redes

Nivel de Enlace: Servicios

- **Framing:**
 - Encapsular datagrama en una trama, añadir cabecera y cola (trailer)
 - Direcciones "MAC" empleadas en la cabecera para identificar al origen y al destino
 - Diferentes de las direcciones IP
- **Acceso al medio:**
 - Acceso al canal en el caso de medio compartido
- **Entrega fiable entre nodos adyacentes:**
 - Rara vez utilizado en enlaces con bajas tasas de error (fibra, par trenzado)
 - Enlaces inalámbricos: altas tasas de error
 - ¿Por qué implementar fiabilidad tanto a nivel de enlace como extremo a extremo?
- **Control de flujo:**
 - Velocidad entre nodo emisor y receptor adyacentes
- **Detección de errores:**
 - Causados por atenuación de la señal, ruido, interferencias
 - El receptor detecta la presencia de errores:
 - Retransmisión o dejar que se pierda la trama
- **Corrección de errores:**
 - El receptor identifica y *corrige* errores de bit sin recurrir a retransmisiones
- **Half-duplex y full-duplex**
 - Con half-duplex ambos extremos de un enlace pueden transmitir pero no al mismo tiempo

Comunicación entre adaptadores



- Nivel de enlace implementado en la "tarjeta" (NIC)
 - Tarjeta Ethernet, tarjeta PCMCIA, tarjeta 802.11
- Emisor:
 - Encapsula datagrama en una trama
 - Añade bits de control de errores, control de flujo, etc.
- Receptor:
 - Comprueba errores, control de flujo, etc
 - Extrae el datagrama y se lo entrega al receptor
- La tarjeta es semi-autónoma
- Nivel de enlace y nivel físico

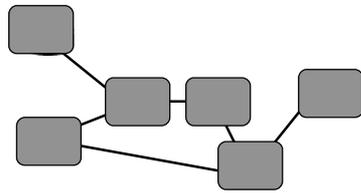
Nivel de Enlace

- Introducción
- Servicios
- Tipos de enlaces
- Protocolos de acceso al medio
 - Partición de canal
 - Acceso aleatorio (CSMA/CD)
 - Por turnos
- Ethernet
- ARP: comunicación IP en una LAN
- Comunicación entre diferentes redes

Tipos de enlaces

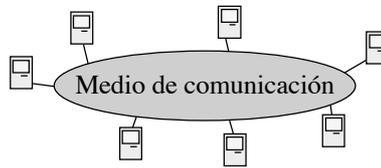
Punto a punto

- Ej: PPP
- Conexiones individuales entre pares de máquinas



Broadcast

- Ej: Ethernet, 802.11, Token Ring...
- Un canal de transmisión común compartido
- Cuando una máquina envía un paquete lo reciben todas



12 Ene

Nivel de Enlace

8/39

Nivel de Enlace

- Introducción
- Servicios
- Tipos de enlaces
- Protocolos de acceso al medio
 - Partición de canal
 - Acceso aleatorio (CSMA/CD)
 - Por turnos
- Ethernet
- ARP: comunicación IP en una LAN
- Comunicación entre diferentes redes

12 Ene

Nivel de Enlace

9/39

Protocolos de Acceso Múltiple

- Dos o más transmisiones simultáneas:
 - colisión si un nodo recibe dos o más señales al mismo tiempo

Protocolo de acceso múltiple

- Algoritmo distribuido que determina cómo comparten el canal los nodos
 - Determina cuándo puede transmitir
- La comunicación sobre la compartición del canal debe emplear el propio canal

Protocolo de Acceso Múltiple Ideal:

Canal de broadcast de R bps

1. Cuando un nodo quiere transmitir, puede hacerlo a la tasa R
2. Cuando M nodos quieren transmitir, cada uno puede hacerlo en media a R/M
3. Descentralizado
 1. No haya un nodo especial para coordinar las transmisiones
 2. No necesite sincronización de los relojes
4. Simple

Protocolos de acceso al medio

Tres grandes clases:

- **Partición del canal**
 - Dividir el canal en "trozos" (slots de tiempo, frecuencia, código)
 - Asignar un "trozo" a un nodo en exclusiva
- **Acceso aleatorio**
 - Canal no repartido, permite colisiones
 - Debería "recuperarse" de las colisiones
- **"Por turnos"**
 - Los nodos se reparten el uso del medio por turnos
 - Nodos con más paquetes a enviar pueden emplear turnos más largos

Partición del canal

Ejemplo: TDMA

TDMA: Time Division Multiple Access

- Acceso al canal por "rondas"
- Cada nodo recibe un slot de longitud fija en cada ronda
- Los slots que no se emplan quedan desaprovechados
- Ejemplo: LAN con 6 estaciones, 1,3,4 tienen paquete para enviar, slots 2,5,6 inactivos



- Comparten el canal de forma eficiente y justa ante alta carga
- Ineficiente ante baja carga:
 - Retardo de acceso al medio
 - Asignación de $1/N$ el ancho de banda incluso con un solo nodo activo

12 Ene

Nivel de Enlace

12/39

Protocolos de Acceso Aleatorio

- Cuando un nodo tiene un paquete para enviar
 - Transmite a la máxima capacidad del canal R
 - No hay una coordinación *a priori* entre los nodos
- Dos o más nodos transmitiendo → "colisión"
- El protocolo de control de acceso al medio (MAC) aleatorio específica:
 - Cómo detectar las colisiones
 - Cómo recuperarse de las colisiones (ej., mediante retransmisiones)
- Eficientes ante baja carga: un solo nodo puede utilizar todo el canal
- Ante alta carga hay sobrecarga por colisiones
- Ejemplos:
 - ALOHA
 - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

12 Ene

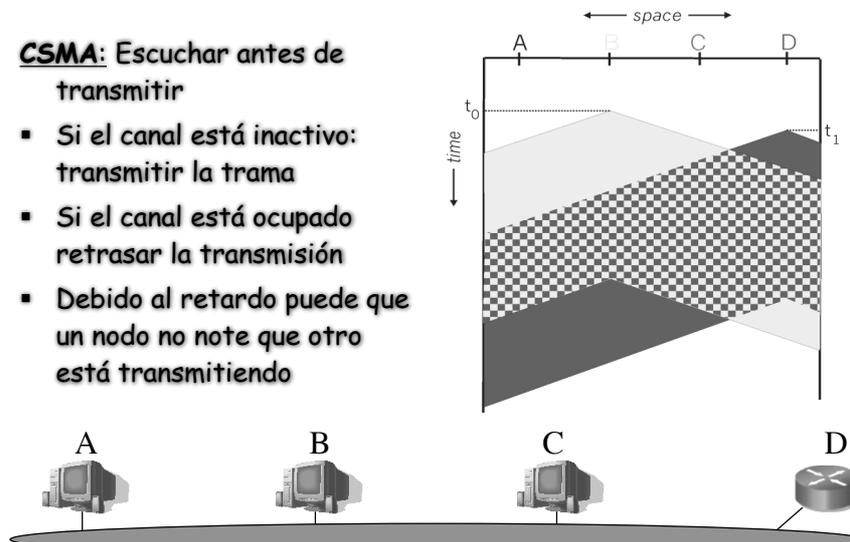
Nivel de Enlace

13/39

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

CSMA: Escuchar antes de transmitir

- Si el canal está inactivo: transmitir la trama
- Si el canal está ocupado retrasar la transmisión
- Debido al retardo puede que un nodo no note que otro está transmitiendo



12 Ene

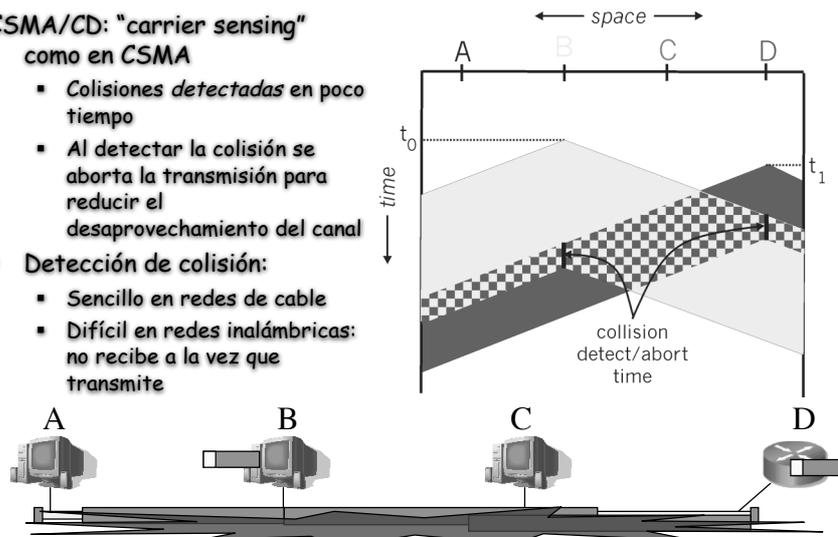
Nivel de Enlace

14/39

CSMA/CD (Collision Detection)

CSMA/CD: "carrier sensing" como en CSMA

- Colisiones detectadas en poco tiempo
- Al detectar la colisión se aborta la transmisión para reducir el desaprovechamiento del canal
- Detección de colisión:
 - Sencillo en redes de cable
 - Difícil en redes inalámbricas: no recibe a la vez que transmite



12 Ene

Nivel de Enlace

15/39

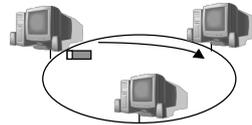
Protocolos MAC "Por Turnos"

Polling:

- Un nodo maestro "invita" a nodos esclavo a transmitir por turnos
- Aspectos:
 - Sobrecarga en el polling
 - Latencia
 - Un punto de fallo (maestro)

Token passing:

- **token** de control se pasa de un nodo al otro de forma secuencial
- Aspectos:
 - Sobrecarga por el token
 - Latencia
 - Un punto de fallo (token)



12 Ene

Nivel de Enlace

16/39

Nivel de Enlace

- Introducción
- Servicios
- Tipos de enlaces
- Protocolos de acceso al medio
 - Partición de canal
 - Acceso aleatorio (CSMA/CD)
 - Por turnos
- Ethernet
- ARP: comunicación IP en una LAN
- Comunicación entre diferentes redes

12 Ene

Nivel de Enlace

17/39

Ethernet hoy en día

- Tecnología de LAN ampliamente extendida
- Simple de instalar
- Barata
- Múltiples medios físicos (coaxial, par trenzado, fibra)
- Ha ido aumentando su velocidad (10Mbps-10Gbps)

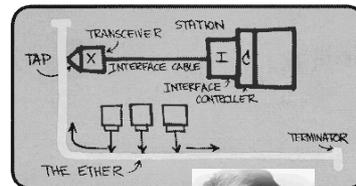
12 Ene

Nivel de Enlace

18/39

Ethernet "original"

- ¿Quién? ¿Cuándo? ¿Dónde? Bob Metcalfe. Años 70-80. Xerox Palo Alto Research Center, California
- Posteriormente fundador de 3Com
- 10Mbps
- Thick Ethernet o 10Base5
- Topología en bus
- CSMA/CD
- Estándar DIX (Digital, Intel, Xerox)



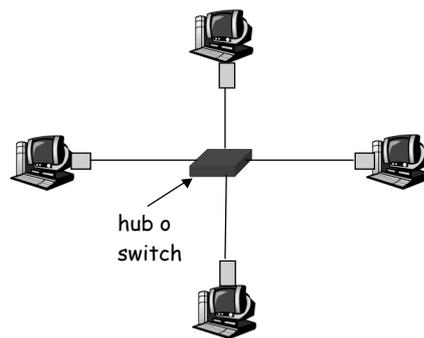
12 Ene

Nivel de Enlace

19/39

Topología en estrella

- Topología en bus popular a mediados de los 90
- Hoy en día topología física en estrella
- Elementos de interconexión: hub o switch



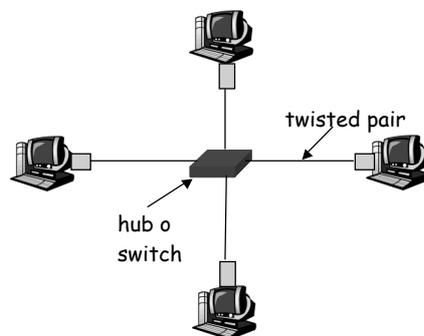
12 Ene

Nivel de Enlace

20/39

10BaseT y 100BaseT

- 10/100 Mbps
- T = Twisted Pair (Par Trenzado)
- 100m distancia máxima entre nodos y hub



12 Ene

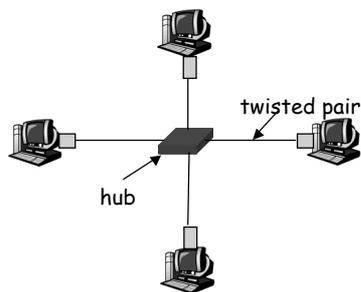
Nivel de Enlace

21/39

Hubs

Esencialmente son repetidores de nivel físico:

- Los bits que vienen por un enlace salen por todos los demás enlaces
- No hay buffering
- El hub no implementa CSMA/CD: los adaptadores son quienes detectan las colisiones



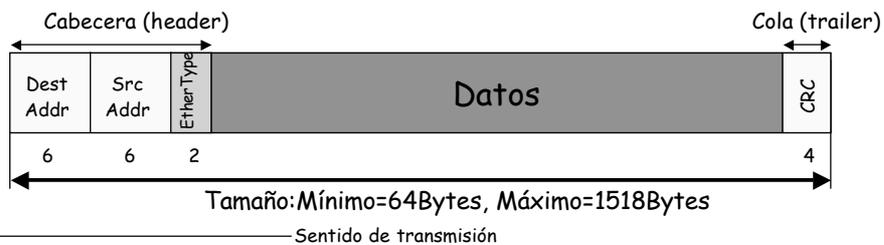
12 Ene

Nivel de Enlace

22/39

Trama DIX

- Dirección MAC única por tarjeta ("a fuego" en la tarjeta)
- 6 bytes (ej: 00:00:0C:95:7A:EA)
- Espacio plano de direcciones: portabilidad
- Gestionadas por el IEEE
 - Los primeros 24 bits identifican al fabricante
00:00:0C (y otros) = Cisco Systems, 00:00:63 = HP, 00:20:AF (y otros) = 3com
 - Los 24 restantes los asigna este último
 - Si el octavo bit está a 1 es una dirección de *multicast*
 - Si todos los bits están a 1 es la dirección de *broadcast*



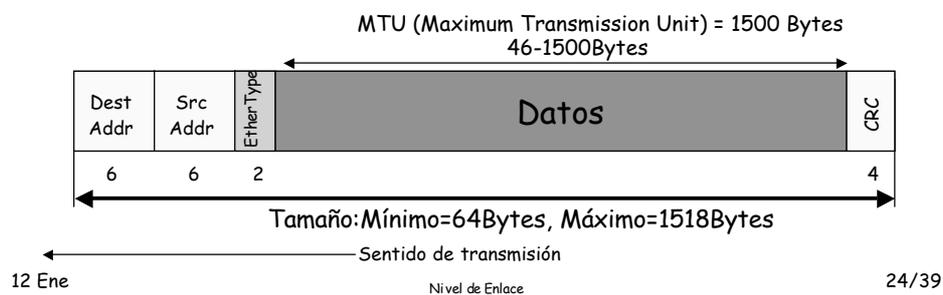
12 Ene

Nivel de Enlace

23/39

Trama DIX

- Ethertype (0x0800 = 2048 => IP)
- Datos:
 - MTU (Maximum Transmission Unit) de 1500Bytes
 - ¿Si no alcanza el mínimo? Relleno con 0s hasta el mínimo
- IP sobre EthernetII en RFC 894



Nivel de Enlace

- Introducción
- Servicios
- Tipos de enlaces
- Protocolos de acceso al medio
 - Partición de canal
 - Acceso aleatorio (CSMA/CD)
 - Por turnos
- Ethernet
- ARP: comunicación IP en una LAN
- Comunicación entre diferentes redes

Direcciones MAC y ARP

- Direcciones IP, 32bits:
 - Direcciones del nivel de red
 - Empleadas para que el datagrama llegue a la red IP destino
- Direcciones MAC (direcciones LAN o físicas o Ethernet):
 - Empleadas para que el datagrama llegue de un interfaz a otro físicamente conectado en la misma red
 - Direcciones MAC de 48bits en la mayoría de LANs, a fuego en la ROM de la tarjeta

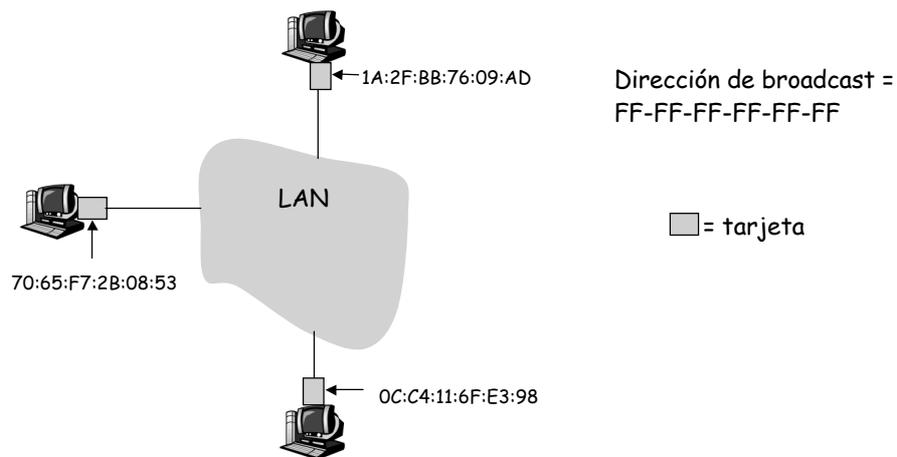
12 Ene

Nivel de Enlace

26/39

Direcciones MAC y ARP

Cada tarjeta en la LAN tiene una dirección MAC única



12 Ene

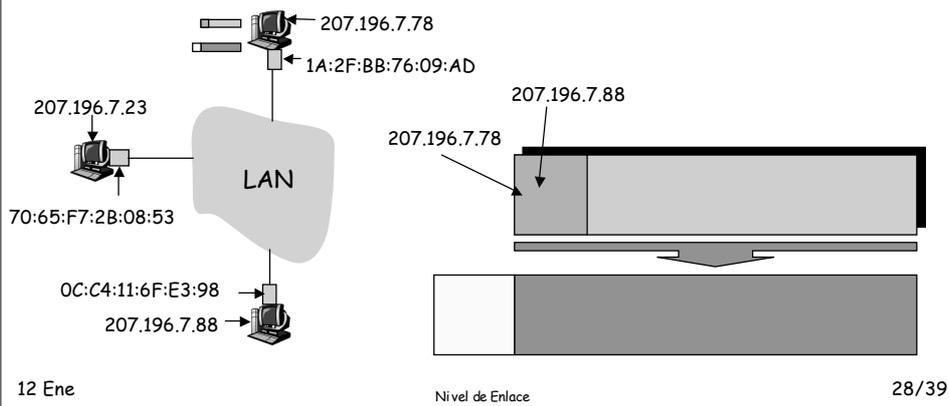
Nivel de Enlace

27/39

ARP: Address Resolution Protocol

¿Cómo enviar un paquete IP de un nodo a otro de la misma red?

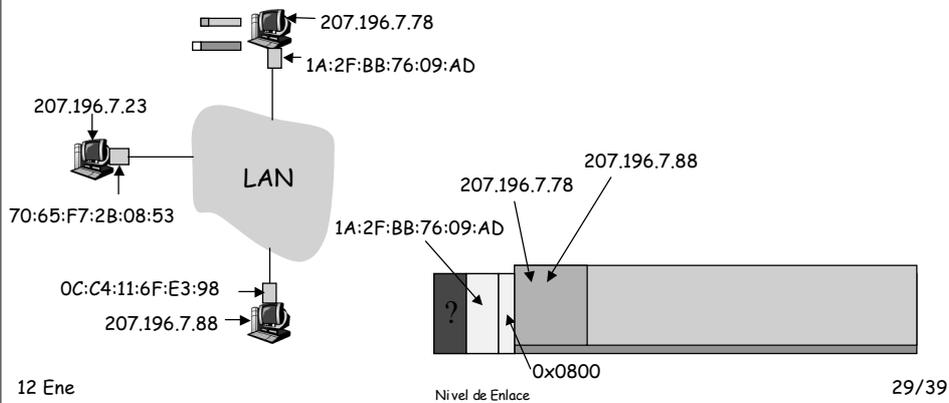
- Ejemplo: Paquete IP de 207.196.7.78 a 207.196.7.88
- Deberá ir en una trama Ethernet...



ARP: Address Resolution Protocol

¿Cómo enviar un paquete IP de un nodo a otro de la misma red?

- Ethertype: 0x0800 (IP)
- MAC origen la de la tarjeta que envía
- MAC destino...

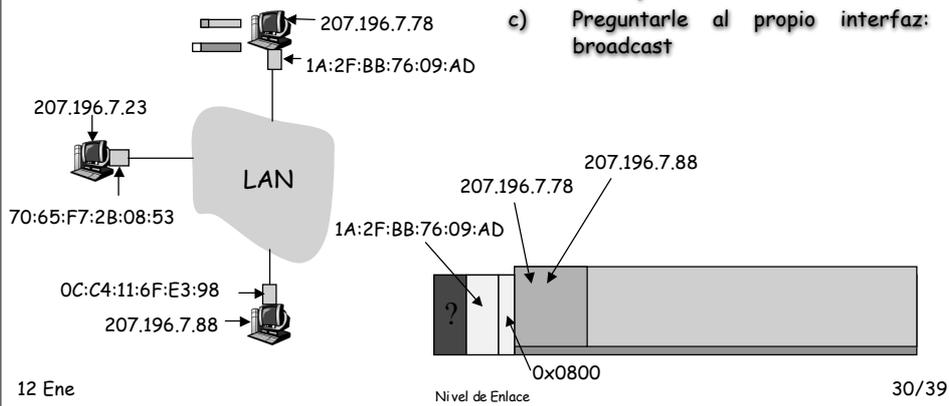


ARP: Address Resolution Protocol

¿Cómo enviar un paquete IP de un nodo a otro de la misma red?

¿Cómo averiguar la MAC destino?

- Que la MAC se pueda extraer de la IP: reconfiguraciones?
- Tener una tabla de correspondencias IP->MAC : cabe?
- Preguntarle al propio interfaz: broadcast

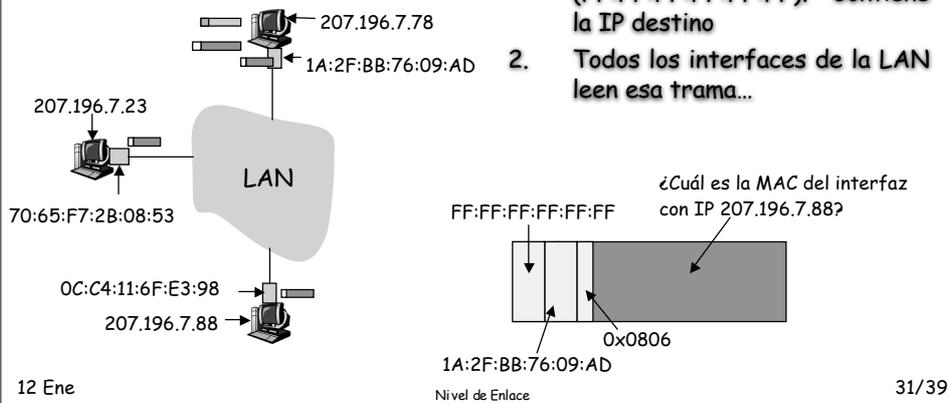


ARP: Address Resolution Protocol

¿Cómo enviar un paquete IP de un nodo a otro de la misma red?

ARP

- ARP Request: El emisor envía una trama ARP a la dirección MAC de broadcast (FF:FF:FF:FF:FF:FF). Contiene la IP destino
- Todos los interfaces de la LAN leen esa trama...

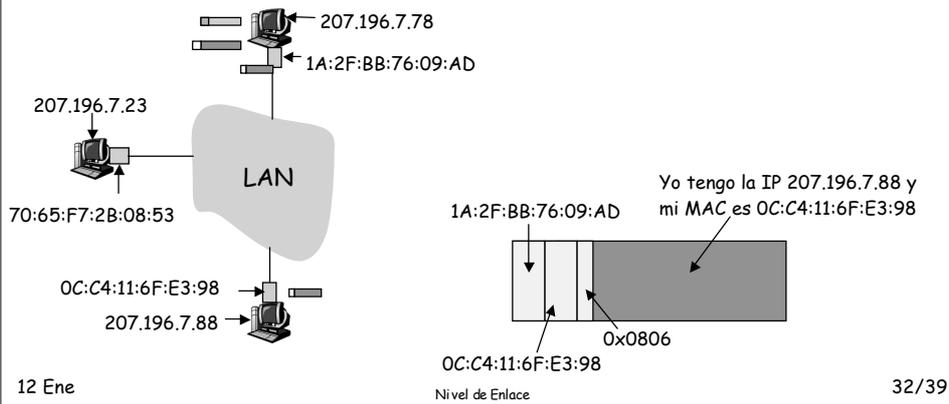


ARP: Address Resolution Protocol

¿Cómo enviar un paquete IP de un nodo a otro de la misma red?

ARP

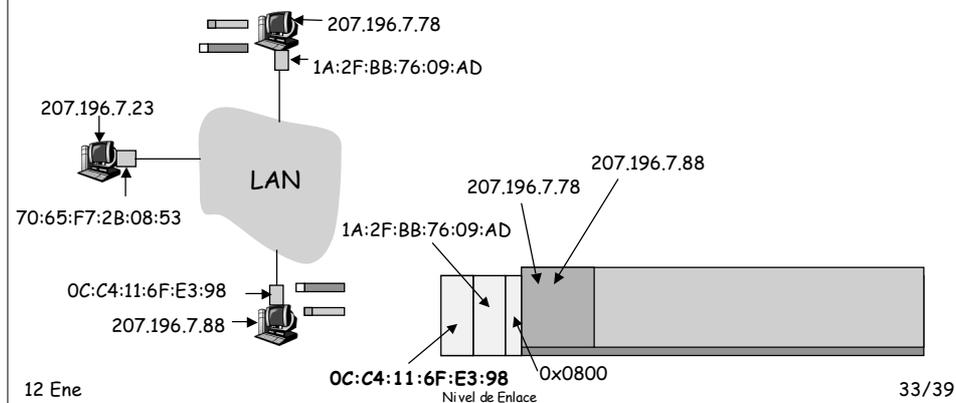
3. ARP Reply: El interfaz con esa IP responde con otra trama ARP...



ARP: Address Resolution Protocol

¿Cómo enviar un paquete IP de un nodo a otro de la misma red?

- Ahora puede colocar la MAC destino...
- Y enviarla...



ARP: Address Resolution Protocol

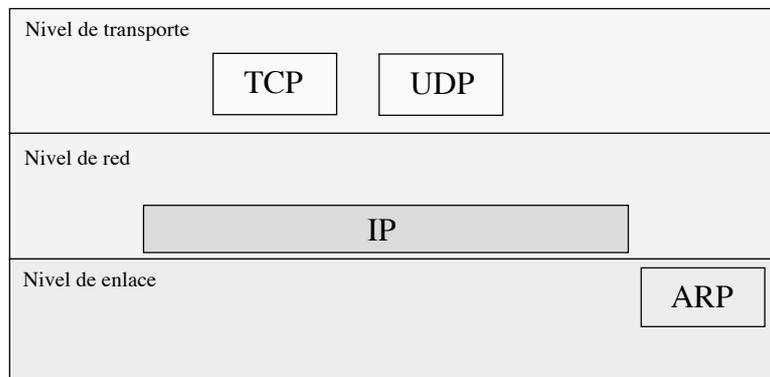
- El host apunta en una cache la relación entre IP y MAC
- Para el próximo paquete no necesita hacer ARP
- El receptor del ARP Request aprende con esa trama la pareja (MAC, IP) del emisor
- Las entradas en la cache de ARP caducan
- Plug-and-play: no necesita intervención del administrador
- Funciona directamente sobre el nivel de enlace (Ethertype 0x0806)

12 Ene

Nivel de Enlace

34/39

Dónde encaja ARP en la pila TCP/IP



12 Ene

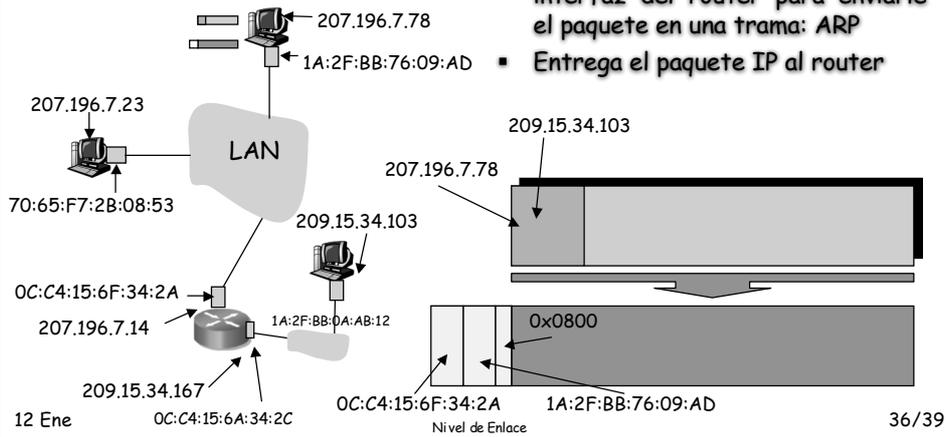
Nivel de Enlace

35/39

Comunicación IP entre redes

¿Y si el destino se encuentra en otra red?

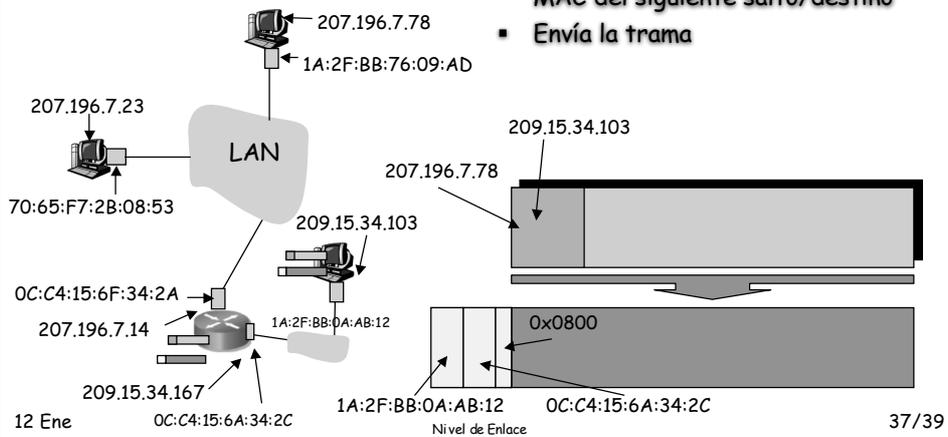
- Debe entregar el paquete a un router que esté en su red
- Debe averiguar la MAC del interfaz del router para enviarle el paquete en una trama: ARP
- Entrega el paquete IP al router



Comunicación IP entre redes

¿Y si el destino se encuentra en otra red?

- El router, como un host, repite el proceso
- Tiene el paquete IP, calcula la MAC del siguiente salto/destino
- Envía la trama



Resumen

- El nivel de enlace permite la comunicación entre dos nodos conectados a la misma red
- Si la tecnología de red (LAN) permite múltiples nodos hace falta resolver los accesos simultáneos:
 - Protocolos de Control de Acceso al Medio (MAC)
- Ethernet:
 - CSMA/CD
 - Direcciones de 48 bits
 - ARP para averiguar la dirección MAC conocida la IP

Próxima clase

Ejercicios