

# Tecnología Digital IV: Redes de Computadoras

## Clase 20: Nivel de Enlace - Parte 2

Lucio Santi & Emmanuel Iarussi

Licenciatura en Tecnología Digital  
Universidad Torcuato Di Tella

27 de octubre de 2025

# Direccionamiento en el Nivel de Enlace



# MAC (Media Access Control)

bits:

arpa de red para una interfaz  
*forwarding* de nivel 3

36

a. LAN, física o Ethernet):

“localmente” para mover un frame desde una  
interfaz físicamente conectada (misma subnet, en  
el mismo segmento de red)

MAC (48 bits) suelen estar grabadas en la ROM  
por lo general pueden cambiarse vía software)

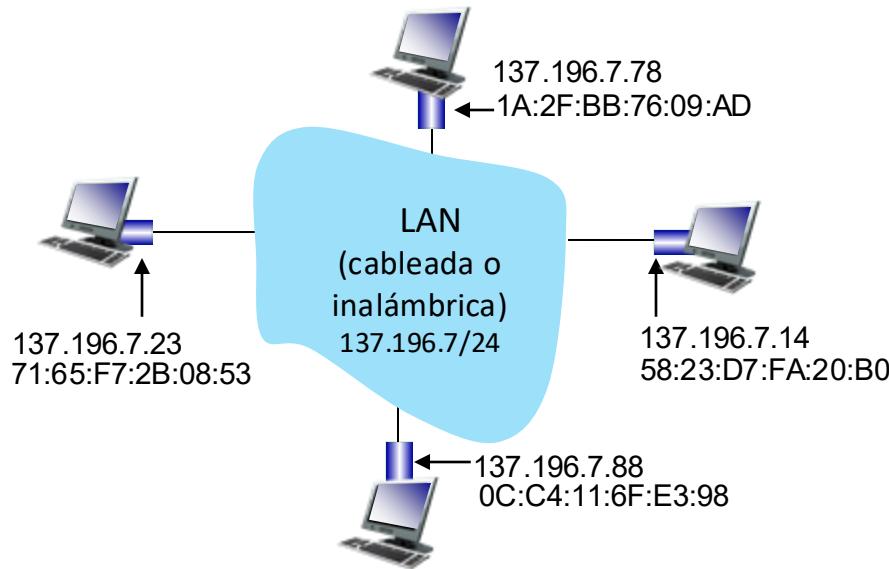
5:09:AD

notación hexadecimal (base 16)  
cada dígito hexa son 4 bits

# Direcciones MAC

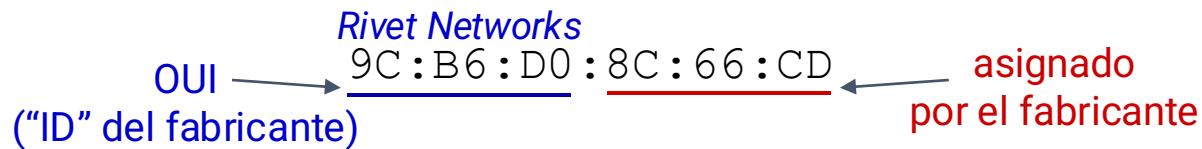
Cada interfaz en una LAN

- Tiene una dirección MAC **única** de 48 bits
- Tiene una dirección IP localmente única de 32 bits



# Direcciones MAC

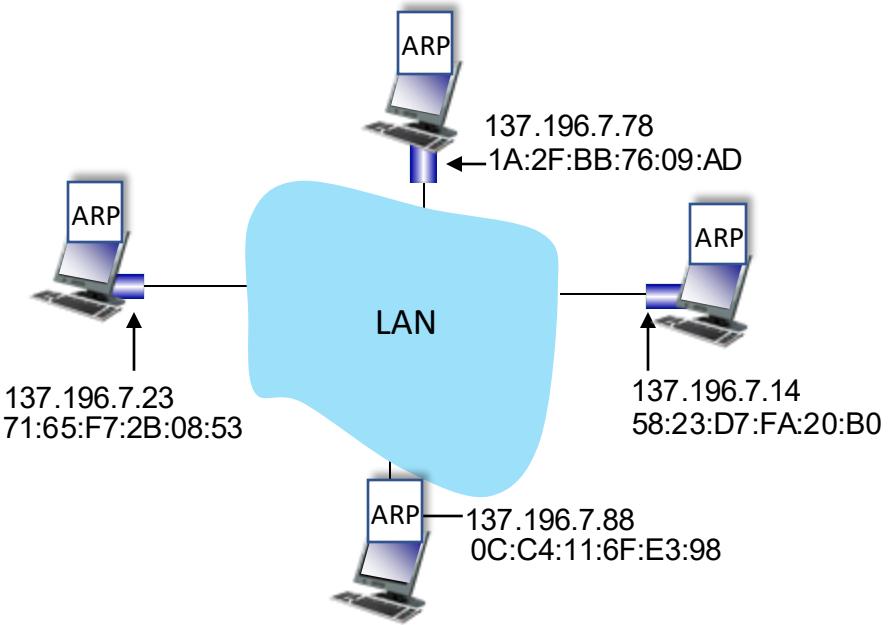
- Las direcciones MAC son administradas por la IEEE
- Los fabricantes compran segmentos del espacio de direcciones MAC (para garantizar unicidad)
- El espacio de direcciones MAC es **chato** (no jerárquico)
  - Portabilidad: es posible mover una entre distintas LANs
  - Las direcciones IP no son portables: dependen de la subnet a la que el nodo está conectado



- Existen sitios para buscar datos del fabricante dada una dirección (e.g. [este](#))

# ARP: Address Resolution Protocol

¿Cómo se determina la MAC de una interfaz conociendo su IP?



**Tabla ARP:** cada nodo IP (host o router) en la LAN mantiene una tabla

- Mapeos de IP a MAC para algunos nodos de la LAN:

**<IP; MAC; TTL>**

- TTL (*Time To Live*): tiempo luego del cual el registro se “olvida” y se elimina de la tabla (usualmente 20 minutos)

# El protocolo ARP en acción

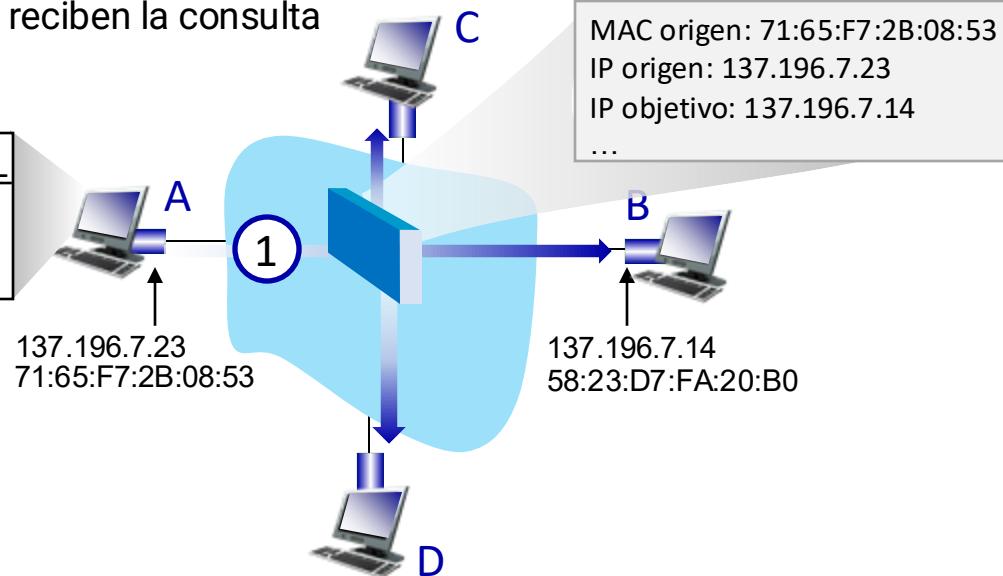
Supongamos que A quiere enviarle un datagrama a B

- La MAC de B no está en la tabla ARP de A, de modo que A utiliza ARP para obtener la MAC de B

A broadcastea una consulta ARP con la IP de B

- MAC destino: **FF:FF:FF:FF:FF:FF**  
Todos los nodos en la LAN reciben la consulta

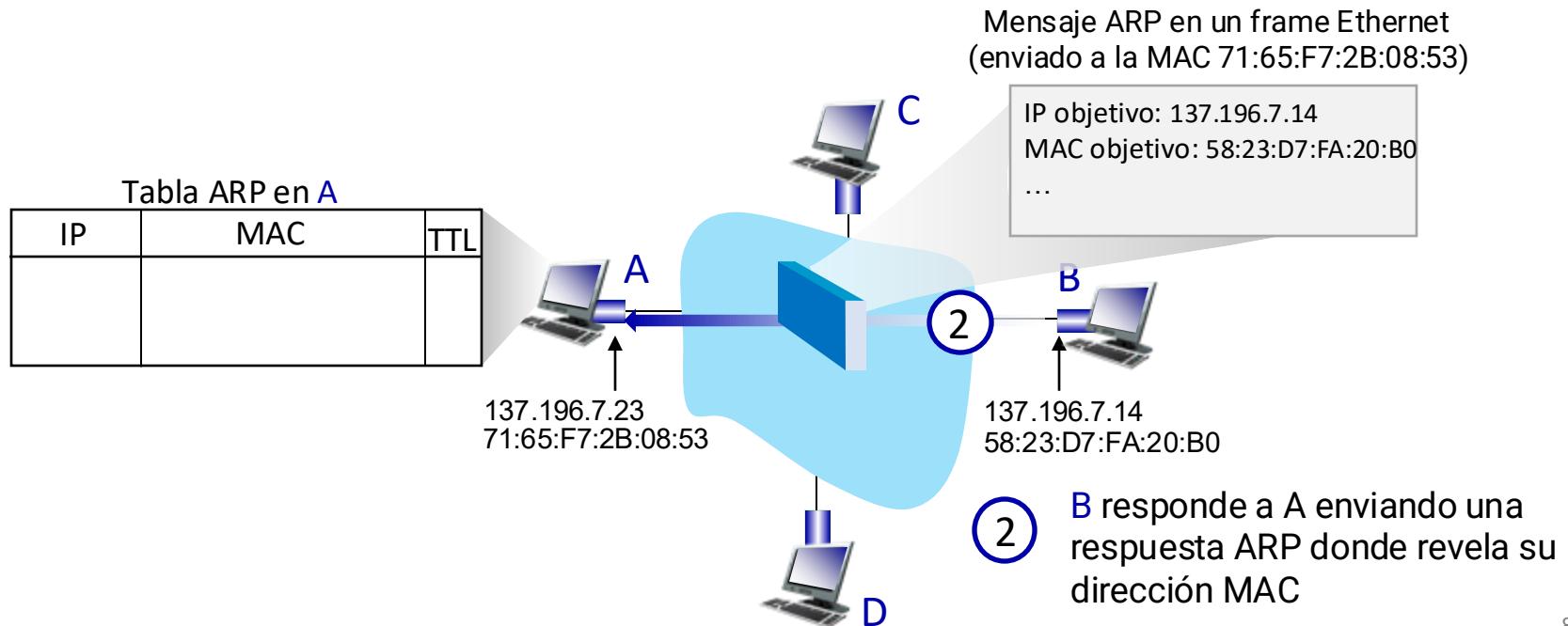
Tabla ARP en A		
IP	MAC	TTL



# El protocolo ARP en acción

Supongamos que A quiere enviarle un datagrama a B

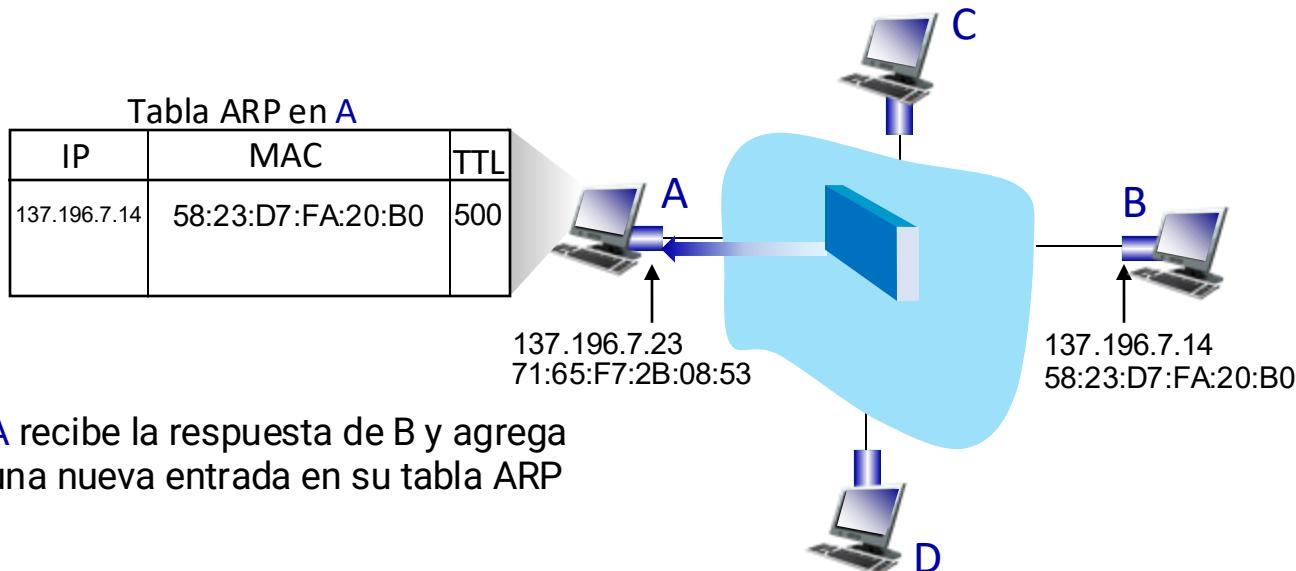
- La MAC de B no está en la tabla ARP de A, de modo que A utiliza ARP para obtener la MAC de B



# El protocolo ARP en acción

Supongamos que A quiere enviarle un datagrama a B

- La MAC de B no está en la tabla ARP de A, de modo que A utiliza ARP para obtener la MAC de B



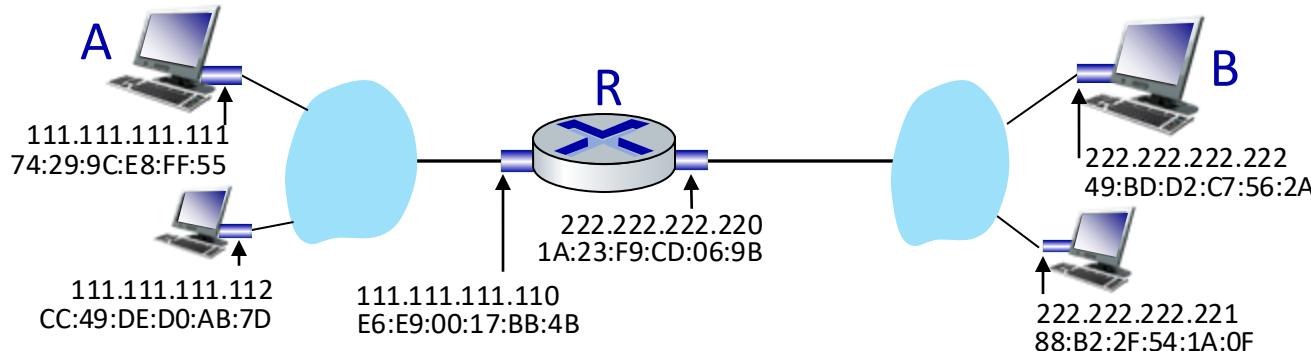
# Demo!

- Utilizar el comando **arp** (Linux) para inspeccionar la tabla ARP del sistema operativo local
  - ¿Cuántas entradas tiene? ¿Cómo se interpretan?
  - ¿A qué dispositivo pertenece cada dirección?
- Manipular la tabla agregando y borrando entradas
  - Eliminar la entrada correspondiente al *default gateway* y luego hacer ping al host 8.8.8.8. ¿Qué ocurre? ¿Por qué? ¿Cómo se ve la tabla ARP luego de cada una de estas acciones?
  - Eliminar nuevamente dicha entrada y agregar una nueva indicando una dirección MAC apócrifa. ¿Qué ocurre ahora si repetimos las acciones anteriores?

# Ruteo entre subnets: direccionamiento

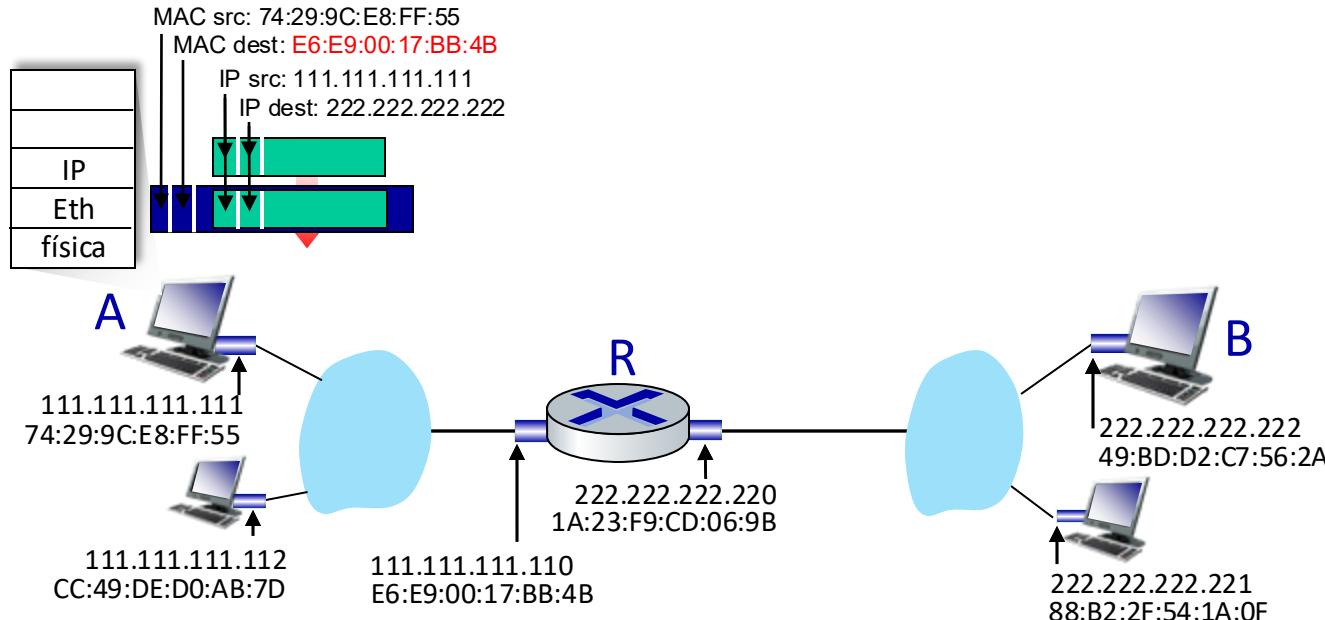
Ejemplo: enviar un datagrama de A hacia B vía R

- Con foco en el direccionamiento, tanto a nivel IP como a nivel MAC
- Suposiciones:
  - A conoce la dirección IP de B
  - A conoce la dirección IP del gateway R (cómo?)
  - A conoce la dirección MAC de R (cómo?)



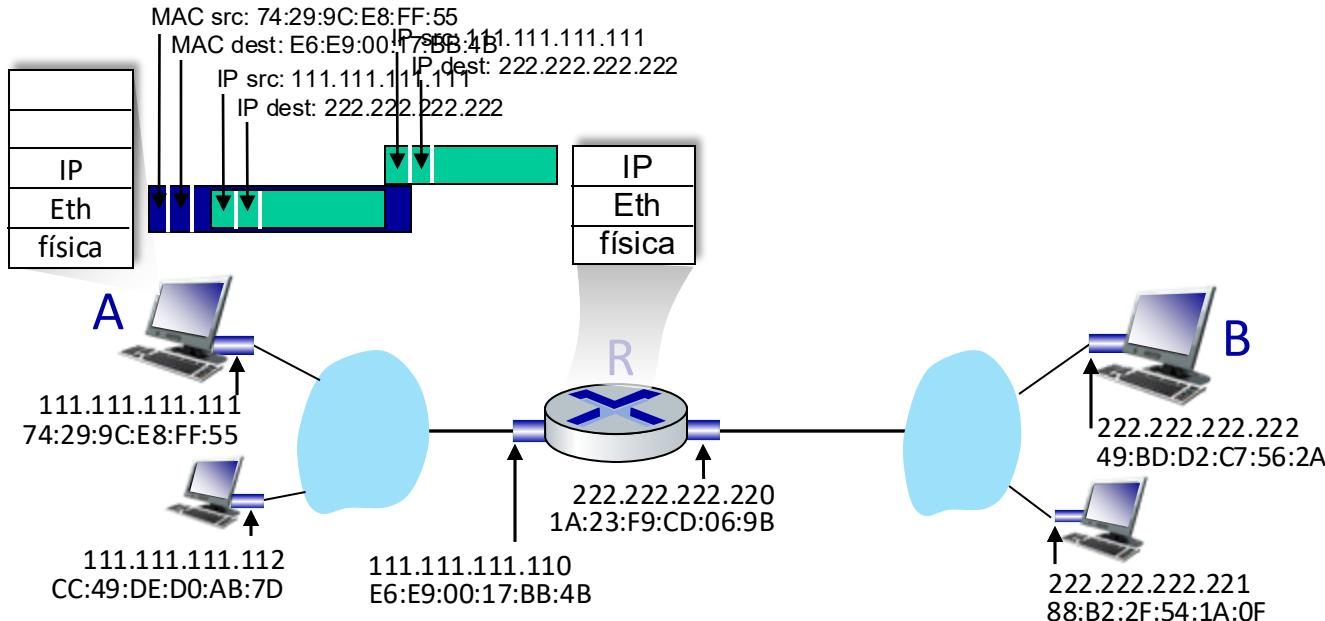
# Ruteo entre subnets: direccionamiento

- A genera un datagrama con IP origen A y destino B
- A genera un frame con el datagrama anterior
  - La dirección MAC destino es la de R



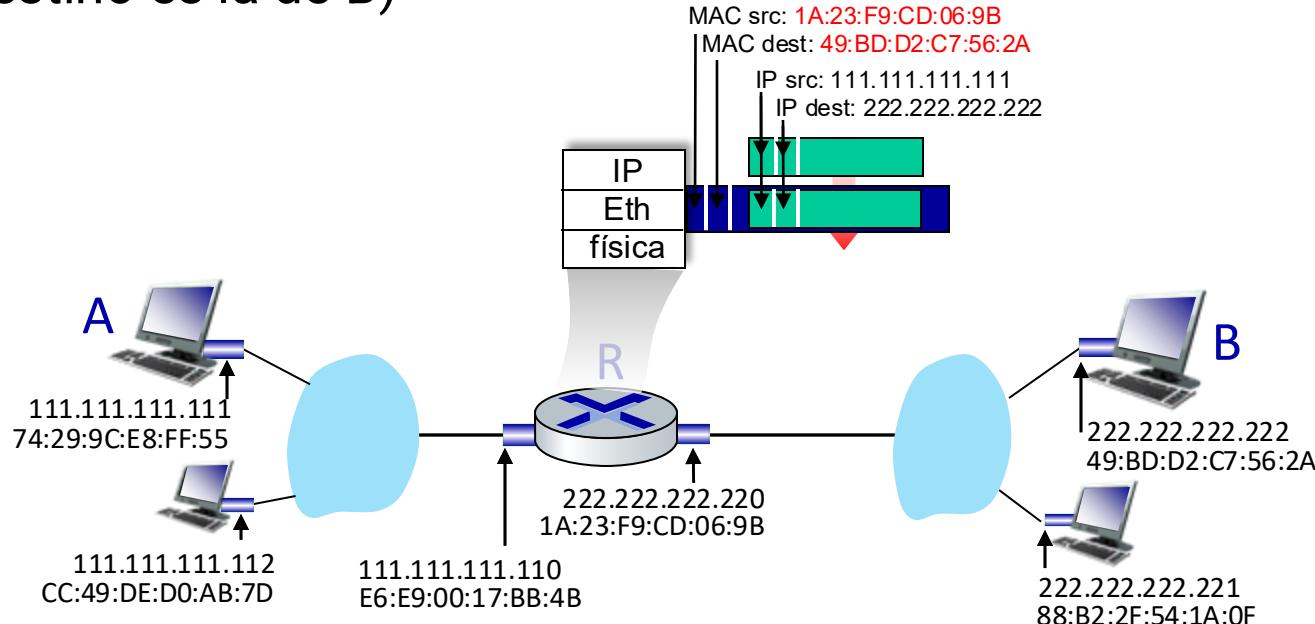
# Ruteo entre subnets: direccionamiento

- El frame se envía de A hacia R
- R recibe el frame, extrae el datagrama y lo entrega a IP



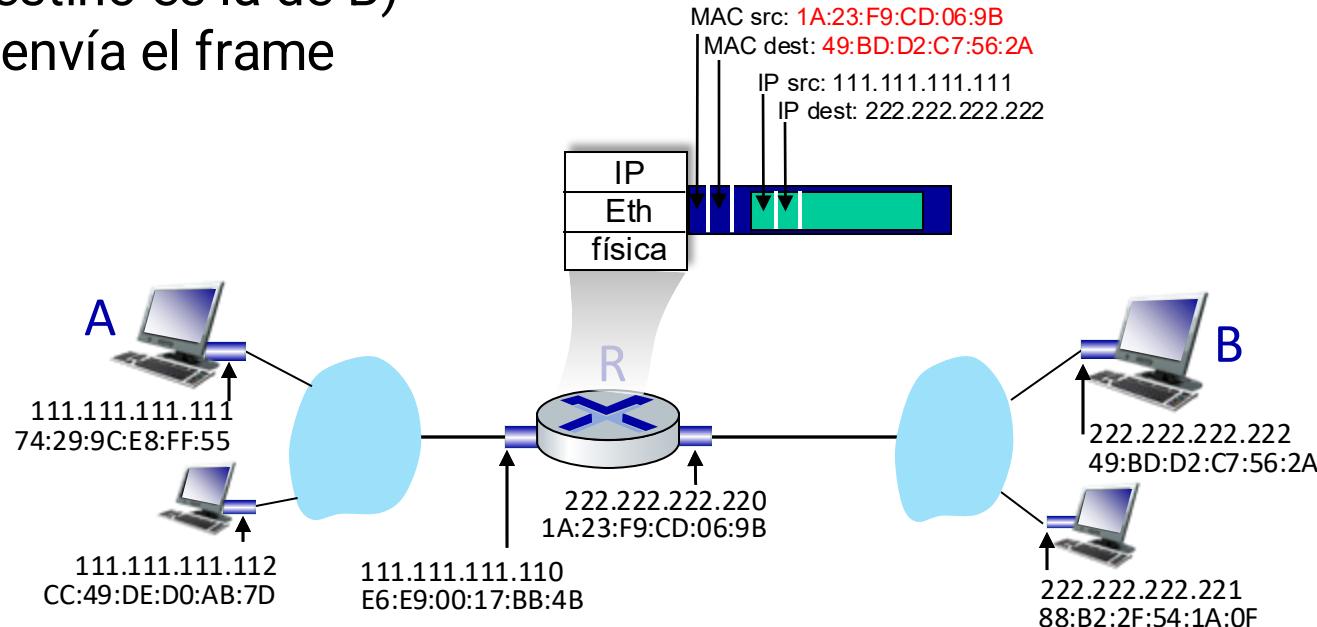
# Ruteo entre subnets: direccionamiento

- R determina la interfaz de salida y entrega el datagrama con IP origen A a la capa de enlace
- R genera un frame contenido dicho datagrama (su MAC destino es la de B)



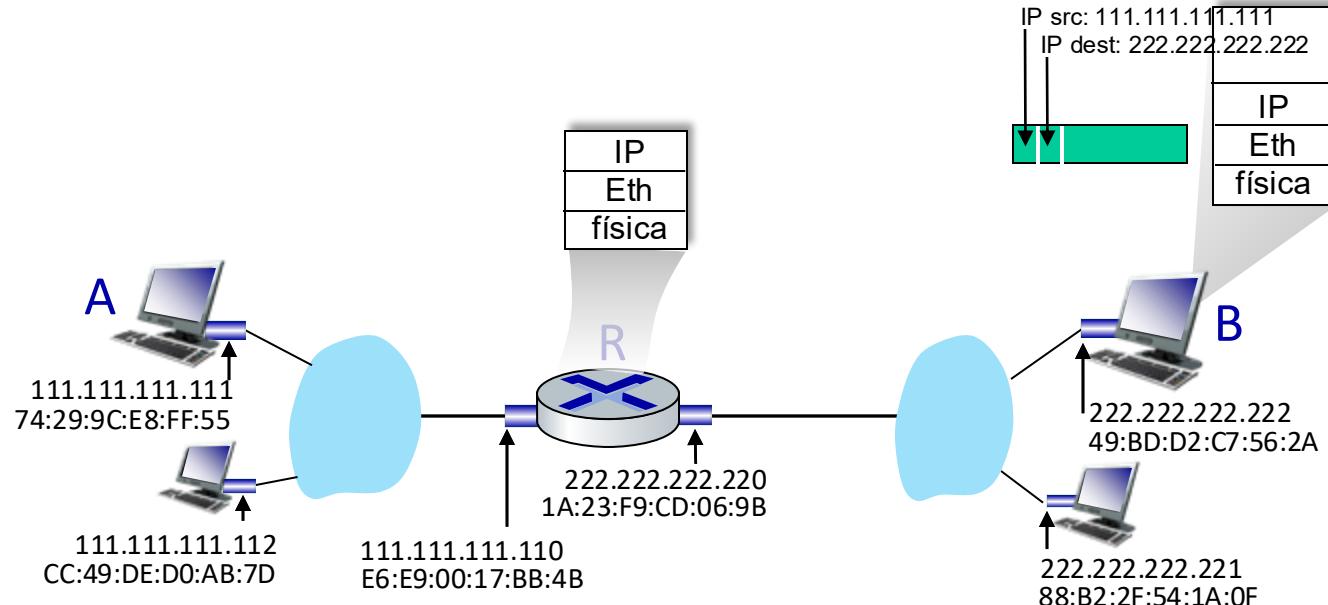
# Ruteo entre subnets: direccionamiento

- R determina la interfaz de salida y entrega el datagrama con IP origen A a la capa de enlace
- R genera un frame conteniendo dicho datagrama (su MAC destino es la de B)
- R envía el frame



# Ruteo entre subnets: direccionamiento

- B recibe el frame y extrae el datagrama
- B entrega el datagrama a IP

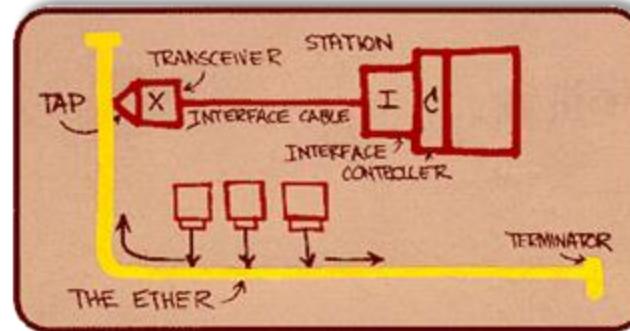


# Ethernet

# Ethernet

**Ethernet** es la tecnología de LANs cableadas más importante

- La primera tecnología de LANs ampliamente usada
- Simple y de bajo costo
- Se mantuvo vigente en cuanto a velocidad de transmisión (hoy por hoy llega a los 400 Gbps)
- Único chip, múltiples velocidades (e.g., Broadcom BCM5761)

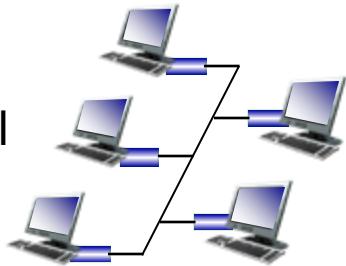


*Diagrama de Ethernet  
de Metcalfe*

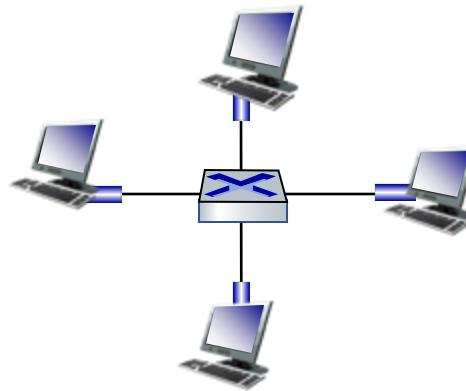
# Ethernet: topología

- **Bus:** popular hasta mediados de la década del '90 (aprox.)
  - Mismo **dominio de colisión** para los nodos
- **Switchheada:** la disposición vigente hoy en día
  - Los nodos se conectan mediante switches de nivel 2
  - Los nodos no colisionan entre sí

**Bus:** cable coaxil



**Switchheada**



# Ethernet: topología

- **Bus:** popular hasta mediados de la década del '90 (aprox.)
  - Mismo **dominio de colisión** para los nodos
- **Switcheada:** la disposición vigente hoy en día
  - Los nodos se conectan mediante switches de nivel 2



# Estructura del frame Ethernet

La interfaz emisora encapsula los datagramas IP (o cualquier otro paquete de otro protocolo de red) en **frames Ethernet**:



## Preámbulo:

- Utilizado para sincronizar los relojes de los interlocutores
- 7 bytes de 10101010 seguidos por un byte 10101011

# Estructura del frame Ethernet



- **Direcciones MAC:** direcciones físicas de 6 bytes cada una
  - Si el adaptador recibe un frame destinado a su MAC o bien a la MAC de broadcast (e.g., en ARP), entrega los datos en el frame al protocolo de red respectivo
  - En otro caso, el adaptador **descarta** el frame
- **Tipo:** indica el protocolo de nivel superior (2 bytes)
  - Principalmente IP pero existen otros (e.g., Novell IPX o AppleTalk)
  - Utilizado para **demultiplexar** en el receptor
- **CRC:** bits de redundancia de CRC32 (4 bytes)
  - El receptor descarta el frame si detecta errores

# Ethernet: servicio

- **No orientado a conexión:** no existe un proceso de *handshaking* entre interlocutores
- **No confiable:** el receptor no envía ACKs o NAKs
  - Los datos en los frames descartados se recuperan sólo si el emisor emplea protocolos confiables en niveles superiores
- Protocolo de acceso al medio (MAC):  
**CSMA/CD con exponential backoff**

# Standards Ethernet 802.3

- Existen múltiples *standards* de Ethernet
  - Todos comparten el protocolo MAC y el formato del frame
  - Distintas velocidades: e.g. 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps
  - Distintos medios de nivel físico: e.g., fibra o cable

