

# 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

3 de junio de 2025

# Direccionamiento en el Nivel de Enlace

D

■

■



# MAC (*Media Access Control*)

bits:

pa de red para una interfaz  
warding de nivel 3

36

a. LAN, física o Ethernet):

“localmente” para mover un frame desde una  
erfaz físicamente conectada (misma subnet, en  
namiento IP)

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

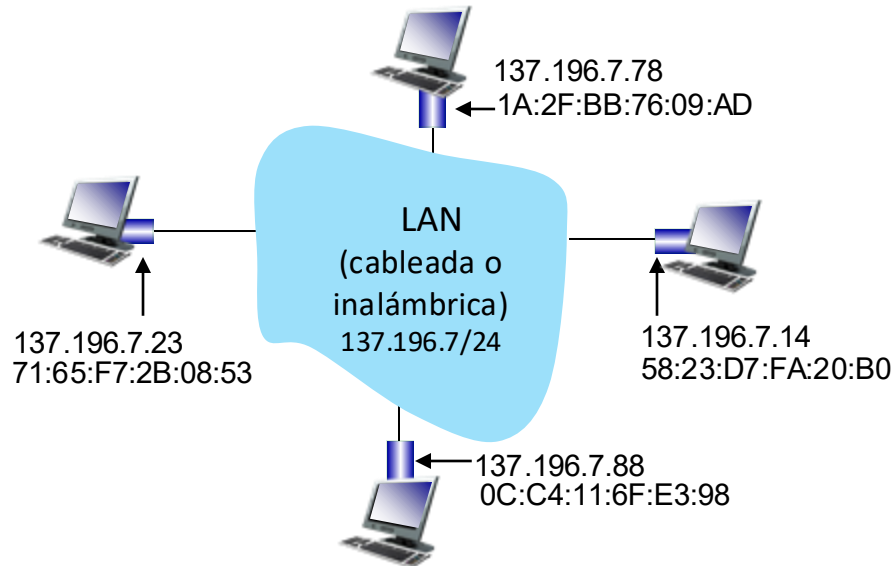
5:09:AD

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

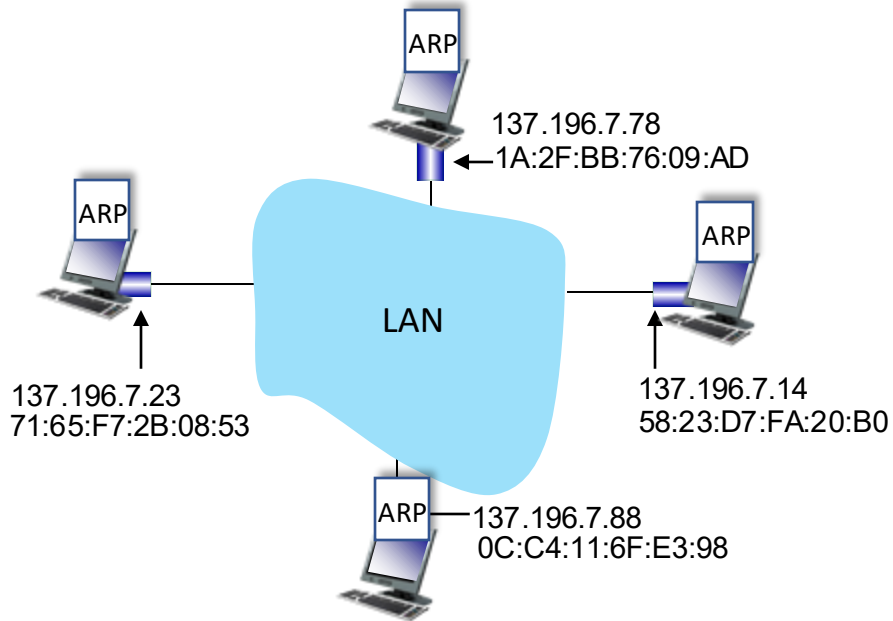
- Las direcciones MAC son administradas por la IEEE
- Los fabricantes compran segmentos del espacio de direcciones MAC (para garantizar unicidad)
- El espacio de direcciones MAC es **chato** (no jerárquico)
  - Portabilidad: es posible mover una entre distintas LANs
  - Las direcciones IP no son portables: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

*Rivet Networks*  
OUI → 9C:B6:D0 : 8C:66:CD ← asignado por el fabricante  
(“ID” del fabricante)

- 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

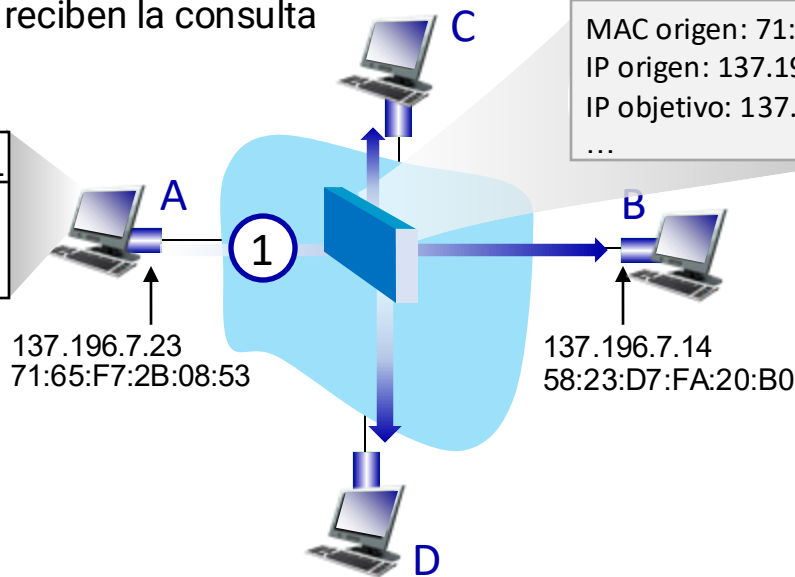
- La MAC de B no está en la tabla ARP de A, de modo que A utiliza ARP para obtener la MAC de B

A *broadcastea* una consulta ARP con la IP de B

- ①
- MAC destino: **FF:FF:FF:FF:FF:FF**
  - Todos los nodos en la LAN reciben la consulta

Tabla ARP en A

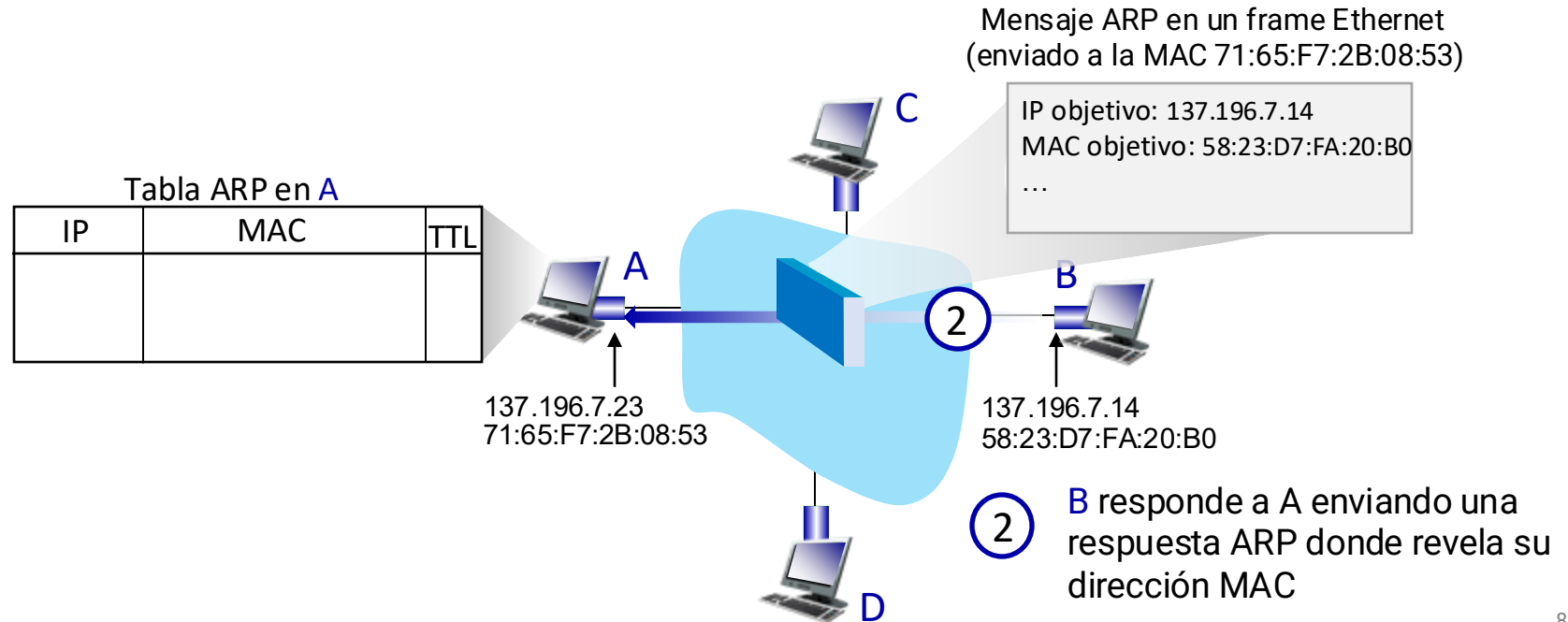
IP	MAC	TTL



# 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

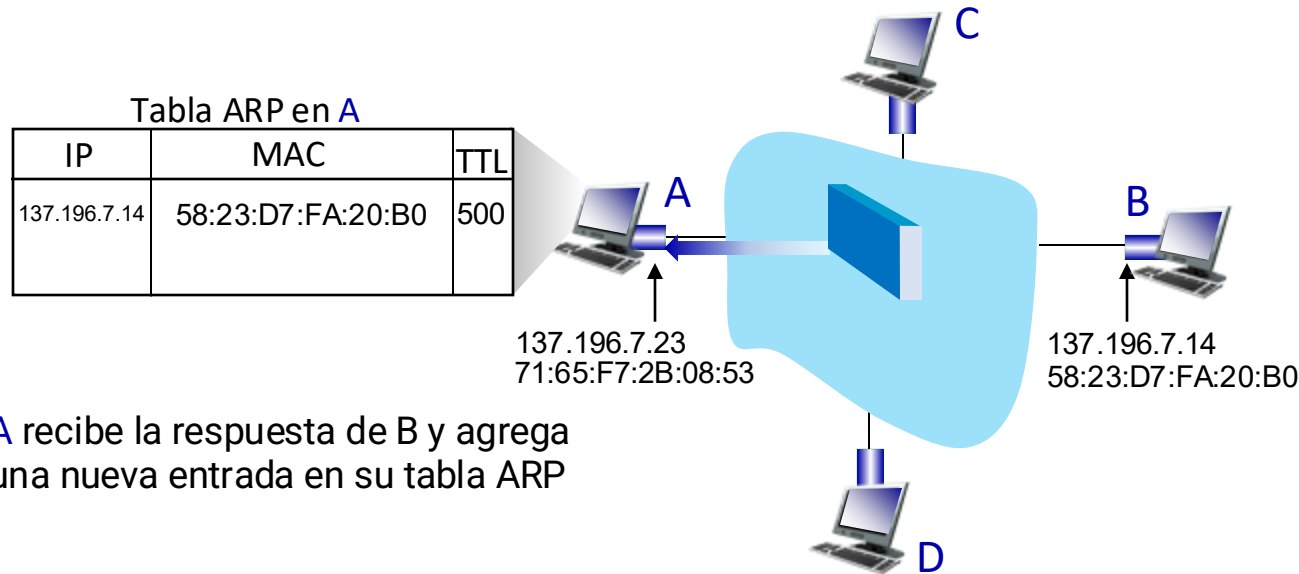




# El protocolo ARP en acción

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



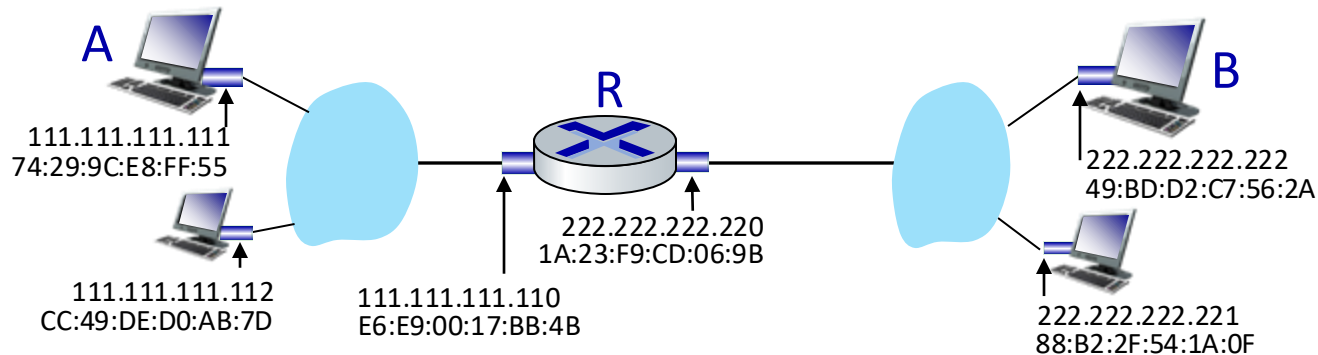
# Demo!

- 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

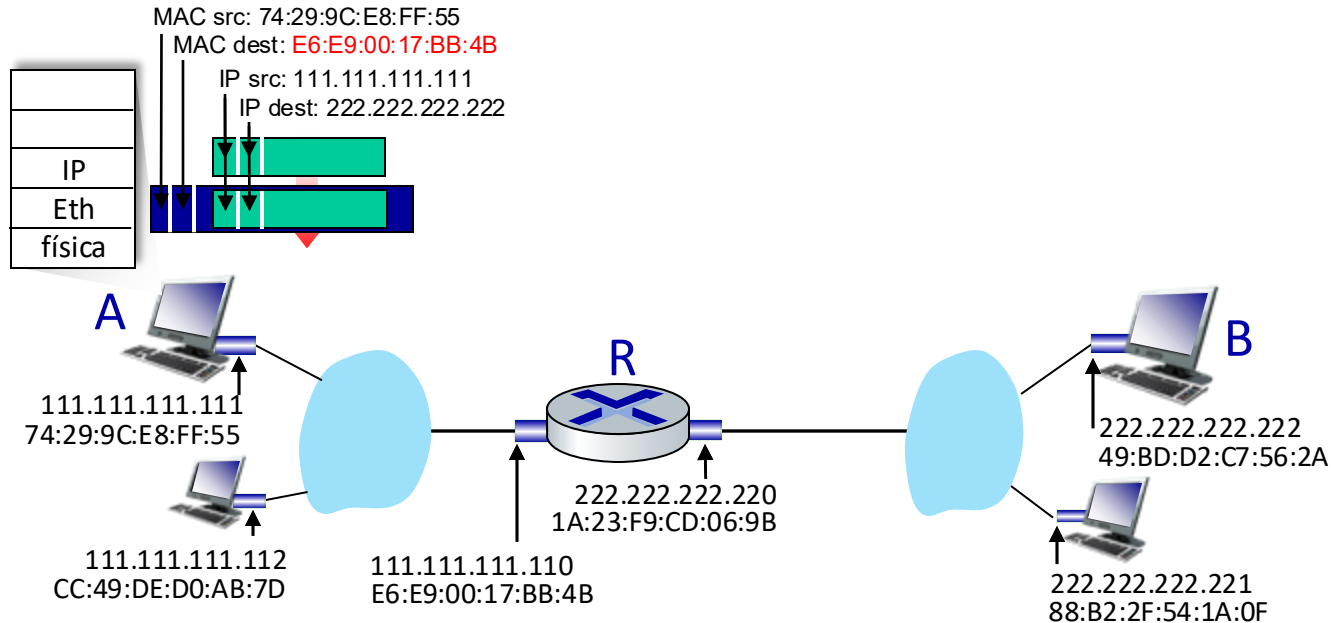
Ejemplo: enviar un datagrama de A hacia B vía R

- 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?)



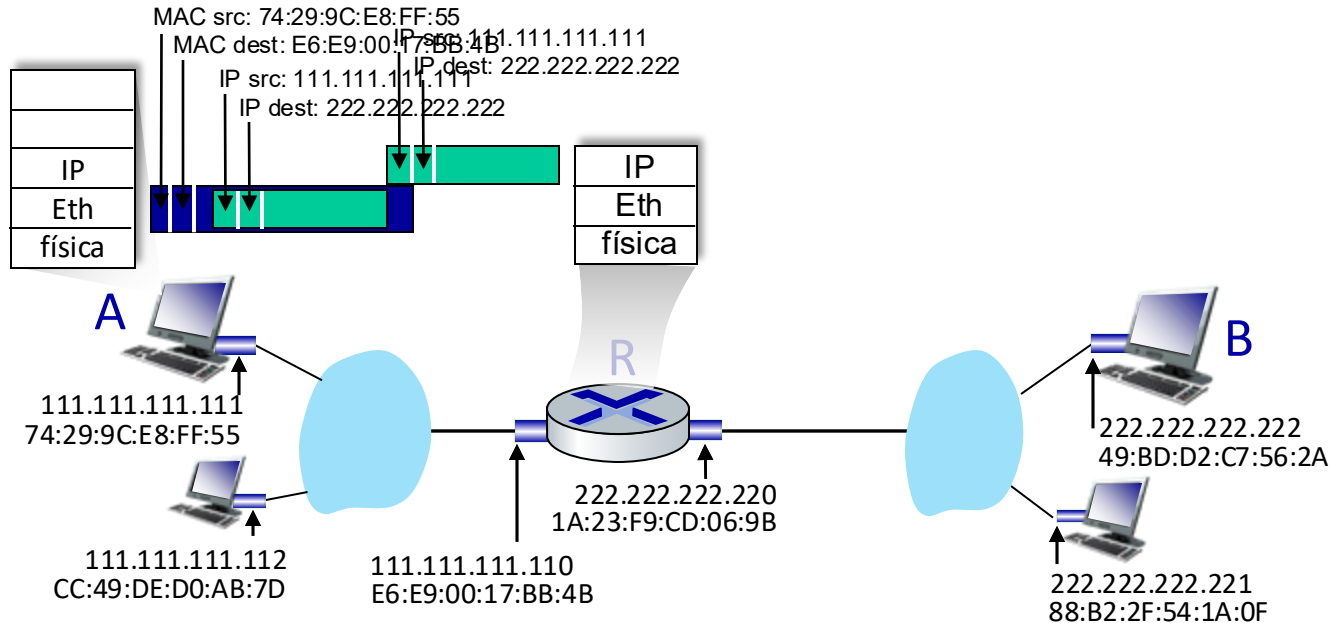
# Ruteo entre subnets: direccionamiento

- 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**



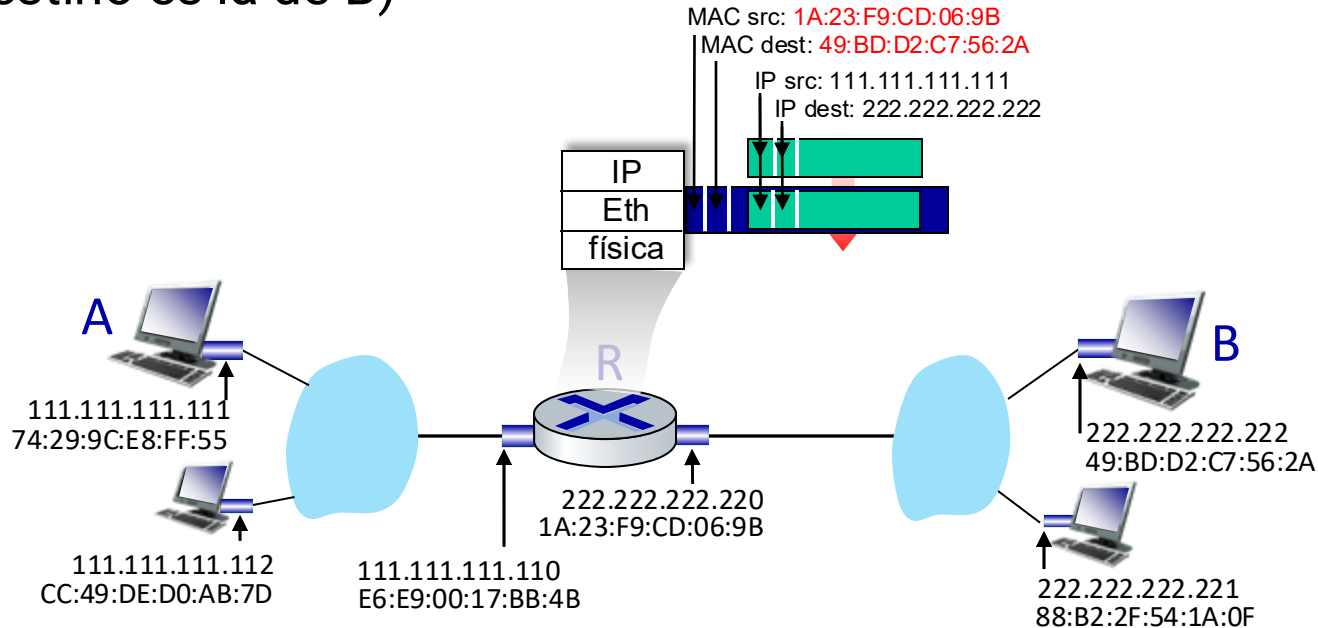
# Ruteo entre subnets: direccionamiento

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



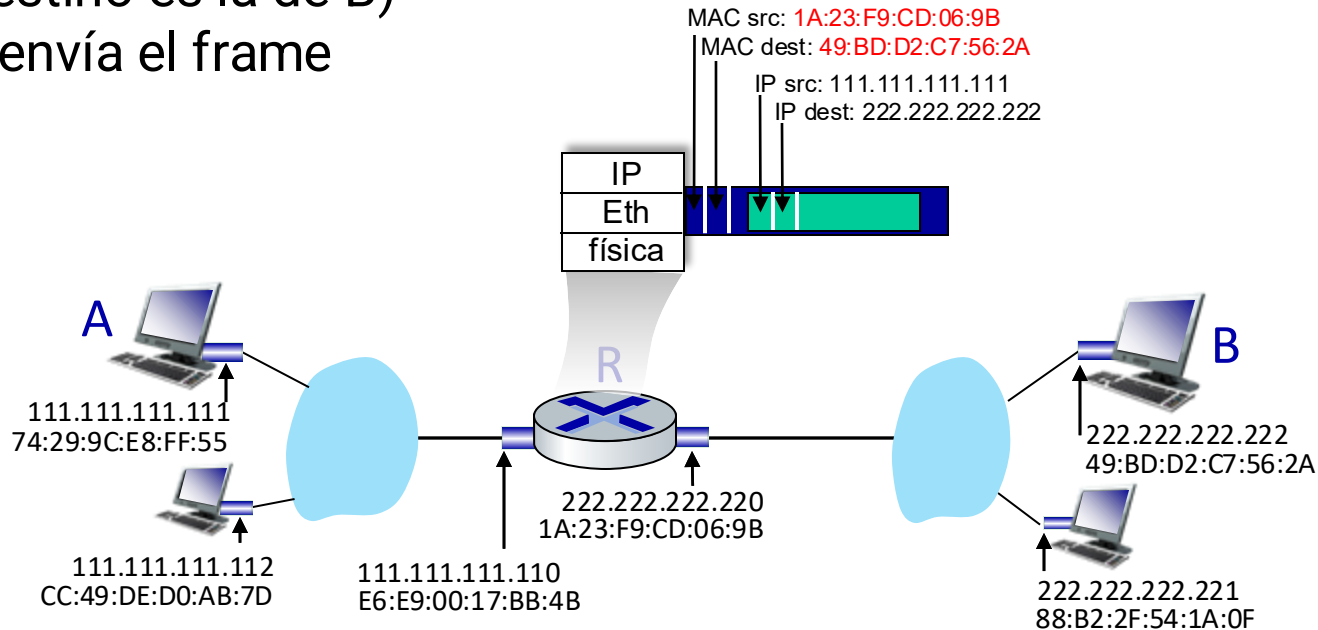
# Ruteo entre subnets: direccionamiento

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



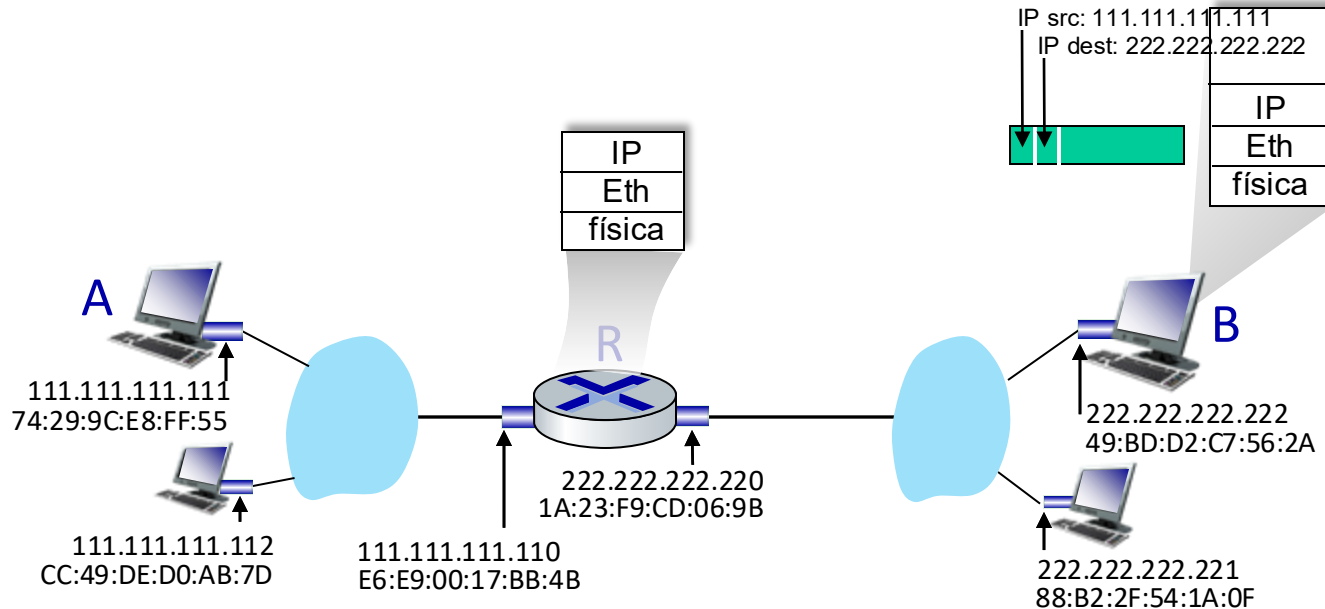
# Ruteo entre subnets: direccionamiento

- 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



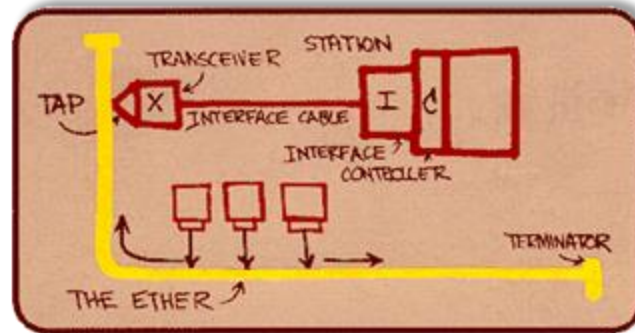


# Ethernet

# 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)

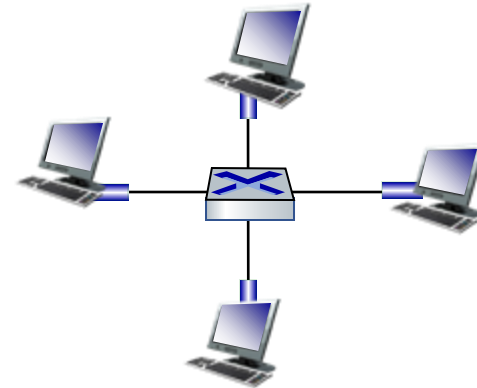
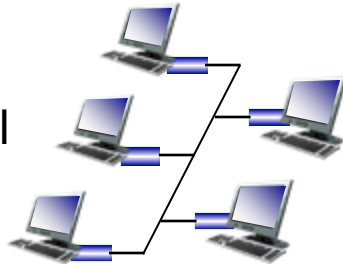


*Diagrama de Ethernet  
de Metcalfe*

# 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

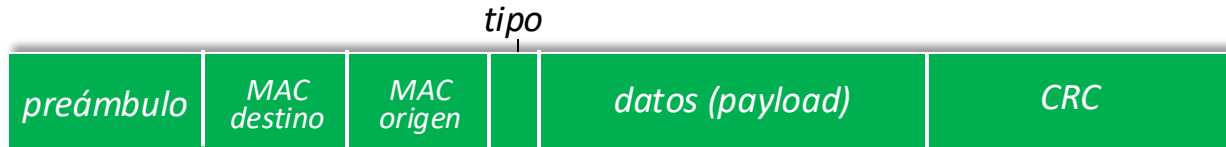
**Bus:** cable coaxil



**Switchheada**

# Estructura del frame Ethernet

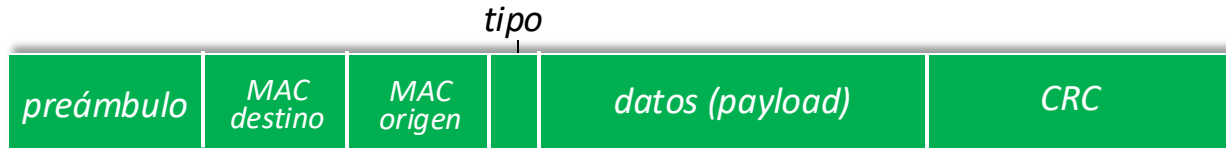
La interfaz emisora encapsula los datagramas IP (o cualquier otro paquete de otro protocolo de red) en **frames Ethernet**:



## 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

# Estructura del Campo “Tipo”

## Valor Hexadecimal

0x0800

0x86DD

0x0806

0x8100

0x8847

0x8848

0x88CC

0x88E5

0x8863 / 8864

## Protocolo Encapsulado

IPv4

IPv6

ARP (Address Resolution Protocol)

IEEE 802.1Q VLAN-tagged frame

MPLS unicast

MPLS multicast

LLDP (Link Layer Discovery Protocol)

MACsec (802.1AE)

PPPoE Discovery / Session

# 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, 1 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps
  - Distintos medios de nivel físico: e.g., fibra o cable

