



Módulo 05

La Capa de Enlace

(Pt. 3)



Redes de Computadoras
Depto. de Cs. e Ing. de la Comp.
Universidad Nacional del Sur



Copyright

- Copyright © **2010-2024** A. G. Stankevicius
- Se asegura la libertad para copiar, distribuir y modificar este documento de acuerdo a los términos de la **GNU Free Documentation License**, versión 1.2 o cualquiera posterior publicada por la Free Software Foundation, sin secciones invariantes ni textos de cubierta delantera o trasera
- Una copia de esta licencia está siempre disponible en la página <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>
- La versión transparente de este documento puede ser obtenida de la siguiente dirección:

<http://cs.uns.edu.ar/~ags/teaching>



Contenidos

- Servicios provistos por la capa de enlace
- Protocolos de acceso múltiple
- Direcciones de red local y protocolo **ARP**
- Ethernet
- Hubs, bridges y switches
- Enlaces inalámbricos
- Virtualización de enlaces
- Datacenters



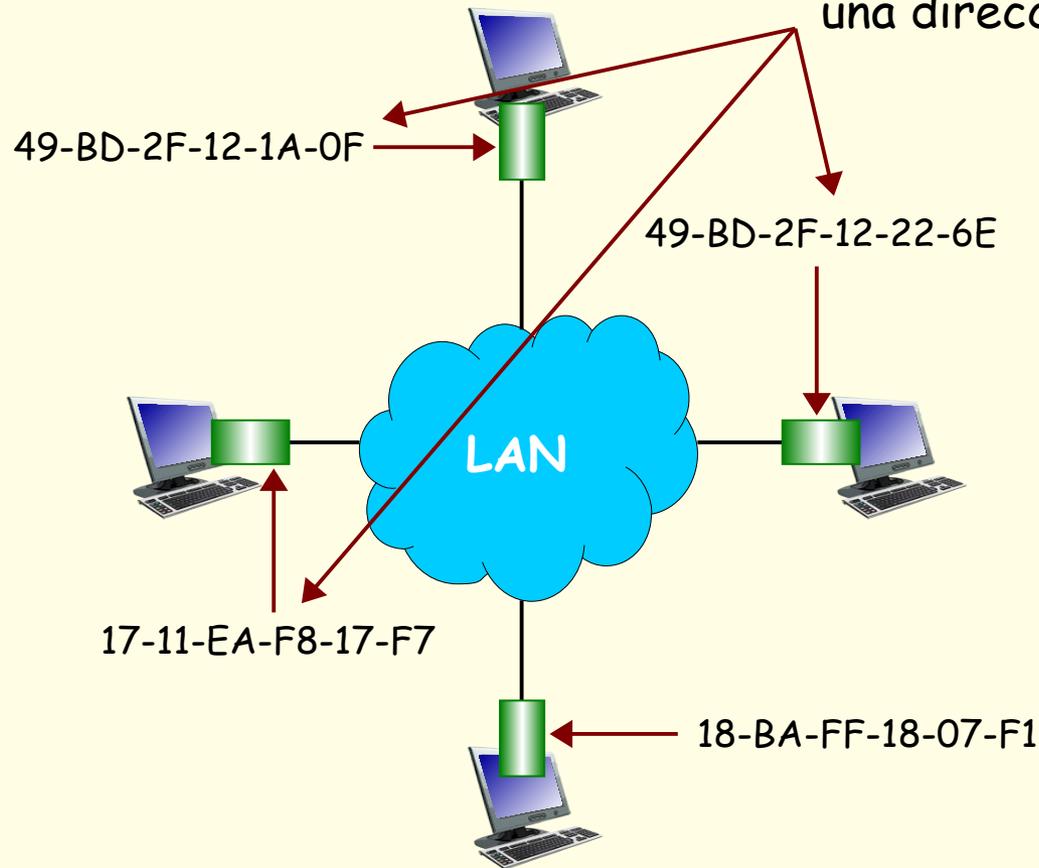
Dirección MAC

- Direcciones **IP** de 32-bit:
 - Dirección usada en la capa de red
 - Es usada para **enrutar los datagramas IP hacia la red destino** (“red” en el sentido dado en la capa de red)
- Dirección **MAC** (también **LAN** o física):
 - Es usada para transmitir el datagrama de una interfaz a otra interfaz **dentro de la misma red**
 - La dirección **MAC** (de 48 bit en la mayoría de las tecnologías **LAN**), está grabada por lo general en la **ROM** del adaptador de red



Dirección MAC

Cada adaptador recibe una dirección **MAC** única



Dirección MAC

- Las direcciones **MAC** son asignadas y administradas por la organización **IEEE**
 - ➔ Los fabricantes de adaptadores de red reciben una porción única de espacio de direcciones **MAC**
- El espacio de direcciones **MAC** se organiza de manera plana, incrementando la flexibilidad
 - ➔ Se puede mover un adaptador de red una red a otra sin tener que modificar su dirección **MAC**
 - ➔ Con las direcciones **IP**, para mover una computadora a otra red se debe ajustar su dirección **IP**



Revisitando ruteo IP

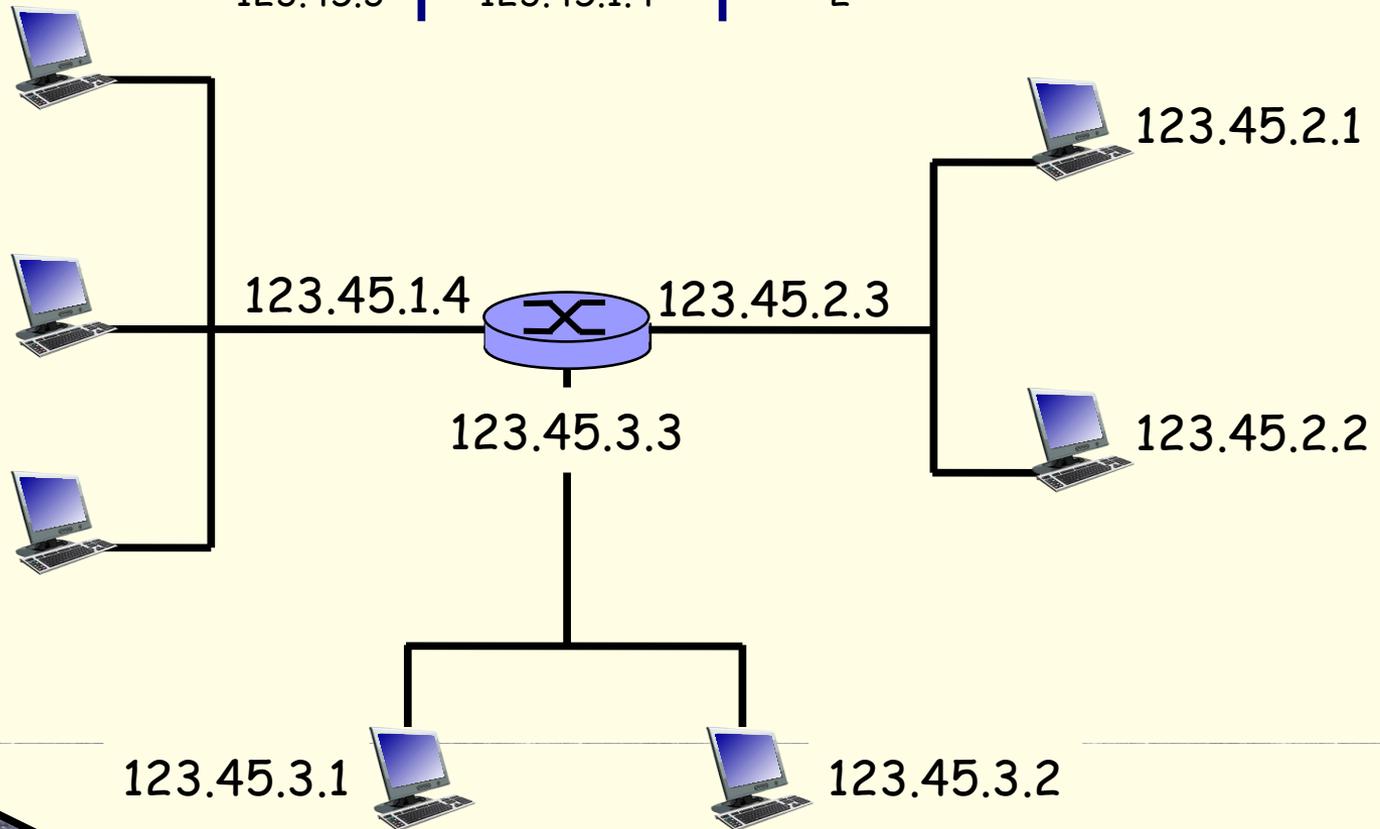
tabla de forwarding
de la computadora **A**

red dest.	próx. router	distancia
123.45.1	-	1
123.45.2	123.45.1.4	2
123.45.3	123.45.1.4	2

A = 123.45.1.1

123.45.1.2

B = 123.45.1.3



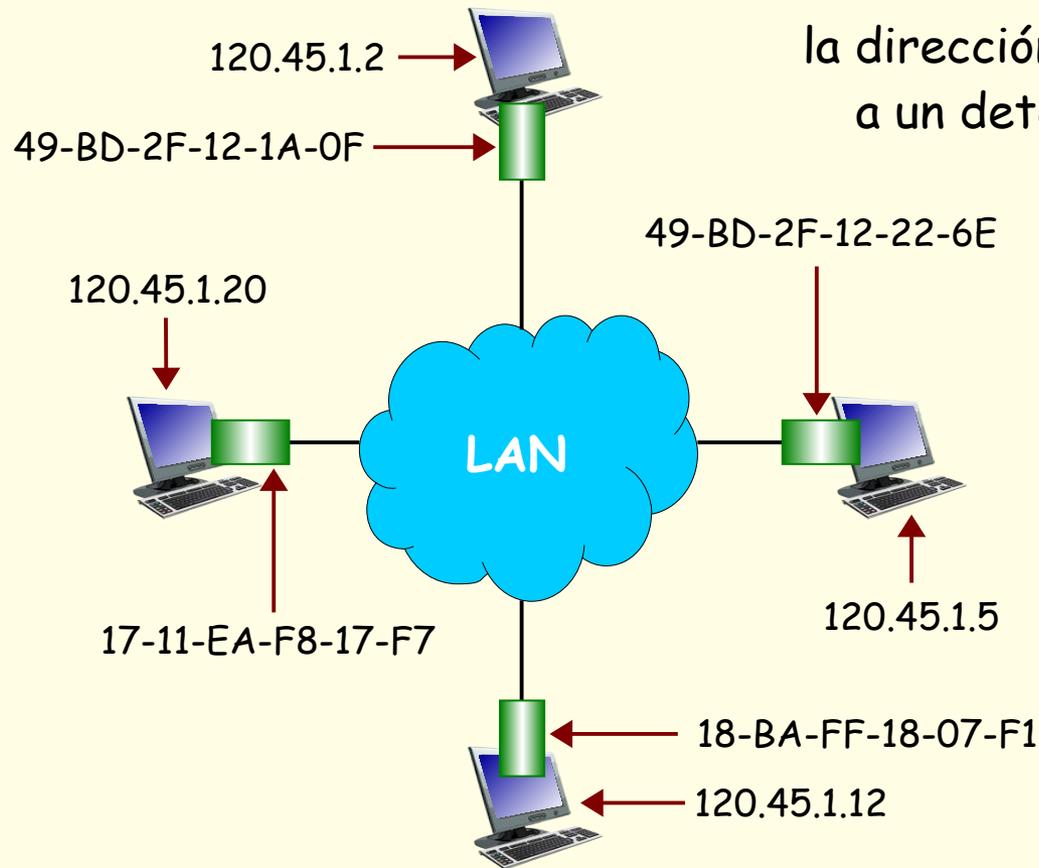
Revisitando ruteo IP

- Para enrutar un datagrama **IP** desde la computadora **A** hacia la computadora **B**:
 - ➔ Se busca la entrada asociada a la red del destino **B** en la tabla de ruteo de **A**
 - ➔ Mirando la tabla de ruteo se determina que **B** está en la misma red que **A**
 - ➔ Finalmente, la capa de enlace envía el datagrama directamente a **B** dentro de una o varias tramas



Direcciones IP y MAC

¿Cómo averiguar
la dirección **MAC** asociada
a un determinado **IP**?



Protocolo ARP

- Para poder resolver el ruteo **IP** es necesario establecer la relación entre direcciones **IP** y direcciones **MAC**
- Cada nodo **IP** de una **LAN** (tanto computadoras como routers), cuenta con una **tabla ARP**
 - ➔ La tabla **ARP** es **un conjunto de ternas** que establecen el mapeo entre direcciones **IP** y **MAC**

<dirección IP, dirección MAC, TTL>
 - ➔ El campo **TTL** denota en cuánto tiempo debe ser “olvidado” el mapeo (típicamente unos 20 minutos)



Protocolo ARP

- El protocolo **ARP** (Address Resolution Protocol) se utiliza para mantener a las tablas **ARP**:
- Consideremos el siguiente escenario:
 - Supongamos que **A** desea enviar un datagrama a **B** y que **A** ya conoce su dirección **IP**
 - Supongamos también que la dirección **MAC** de **B** no se encuentra en la tabla **ARP** de **A**
 - **A** envía una consulta **ARP** con la dirección **IP** de **B** a la dirección **LAN** de broadcast (dirección física con todos los bits en 1)



Protocolo ARP

● Continúa:

- Todas las computadoras en la **LAN** reciben la consulta **ARP** (ya que se usó la dirección de broadcast)
 - **B** recibe la consulta **ARP** y contesta a **A** construyendo una respuesta **ARP** conteniendo su dirección **MAC**
 - El frame conteniendo la respuesta **ARP** es enviado directamente a **A** usando su dirección **MAC**
- ## ● ¿De dónde saca **B** la dirección **MAC** de **A**?
- Una posibilidad es que ya la tenga en su tabla **ARP**
 - Si no, la puede recuperar de la consulta **ARP** de **A**



Cache ARP

- Continúa:

- ➔ **A** almacena el mapeo entre las direcciones **IP** y **MAC** de **B** en su tabla **ARP** (también denominada cache **ARP**), hasta que la información se desactualice (en otras palabras, que se agote el **TTL** de esa entrada)
- ➔ El estado mantenido por el protocolo **ARP** es lábil, es decir, la información que se desactualiza es olvidada a menos que sea refrescada a tiempo

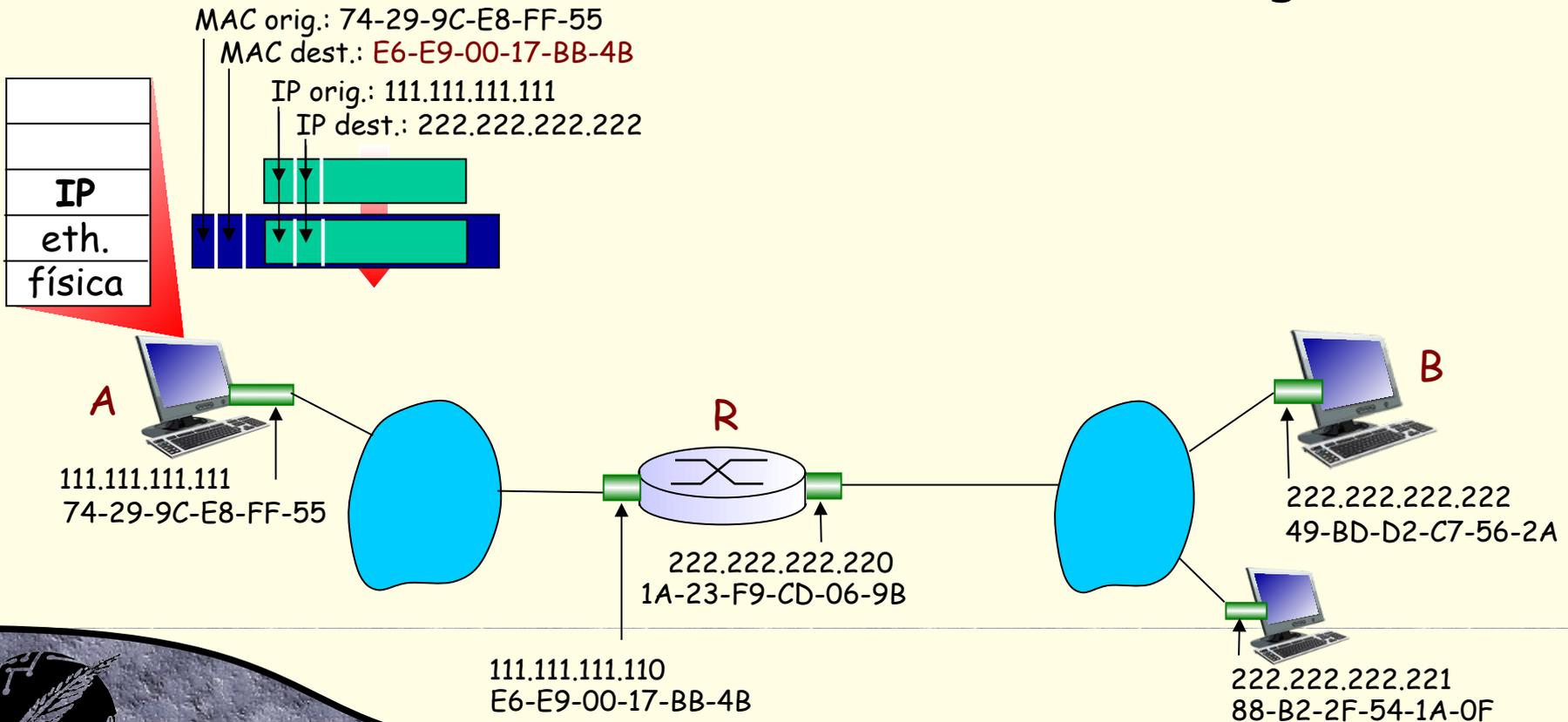
- El protocolo **ARP** intenta ser “plug-and-play”

- ➔ Los nodos de la red crean sus propias tablas **ARP** sin requerir la intervención del administrador de la red



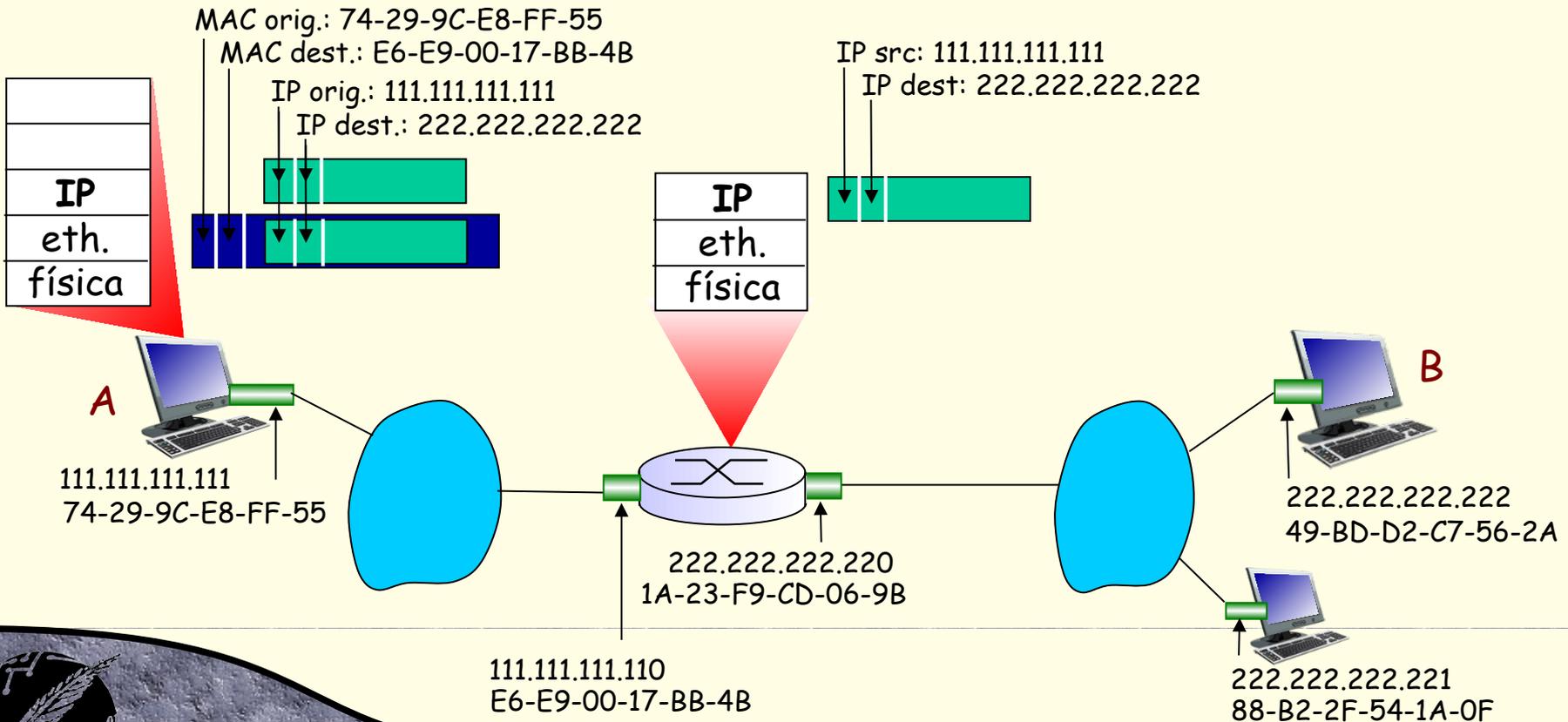
Ruteando a otra LAN

- **A** crea un datagrama **IP** con origen **A** y destino **B**
- Para esto, **A** crea una trama con la dirección **MAC** de **R** como destino, conteniendo este datagrama



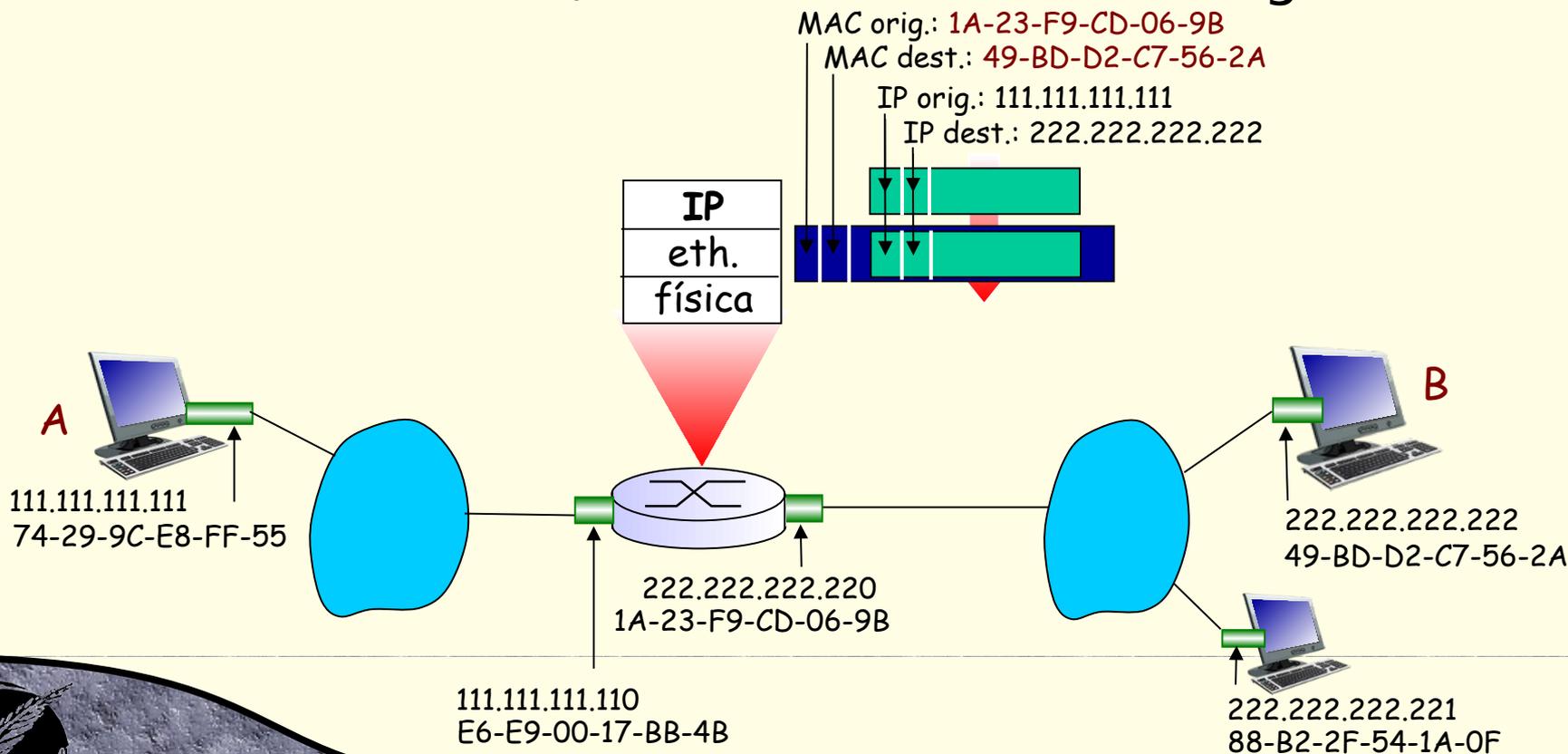
Ruteando a otra LAN

- La trama es enviada de **A** a **R**
- Al llegar la trama a **R**, se extrae el datagrama **IP**



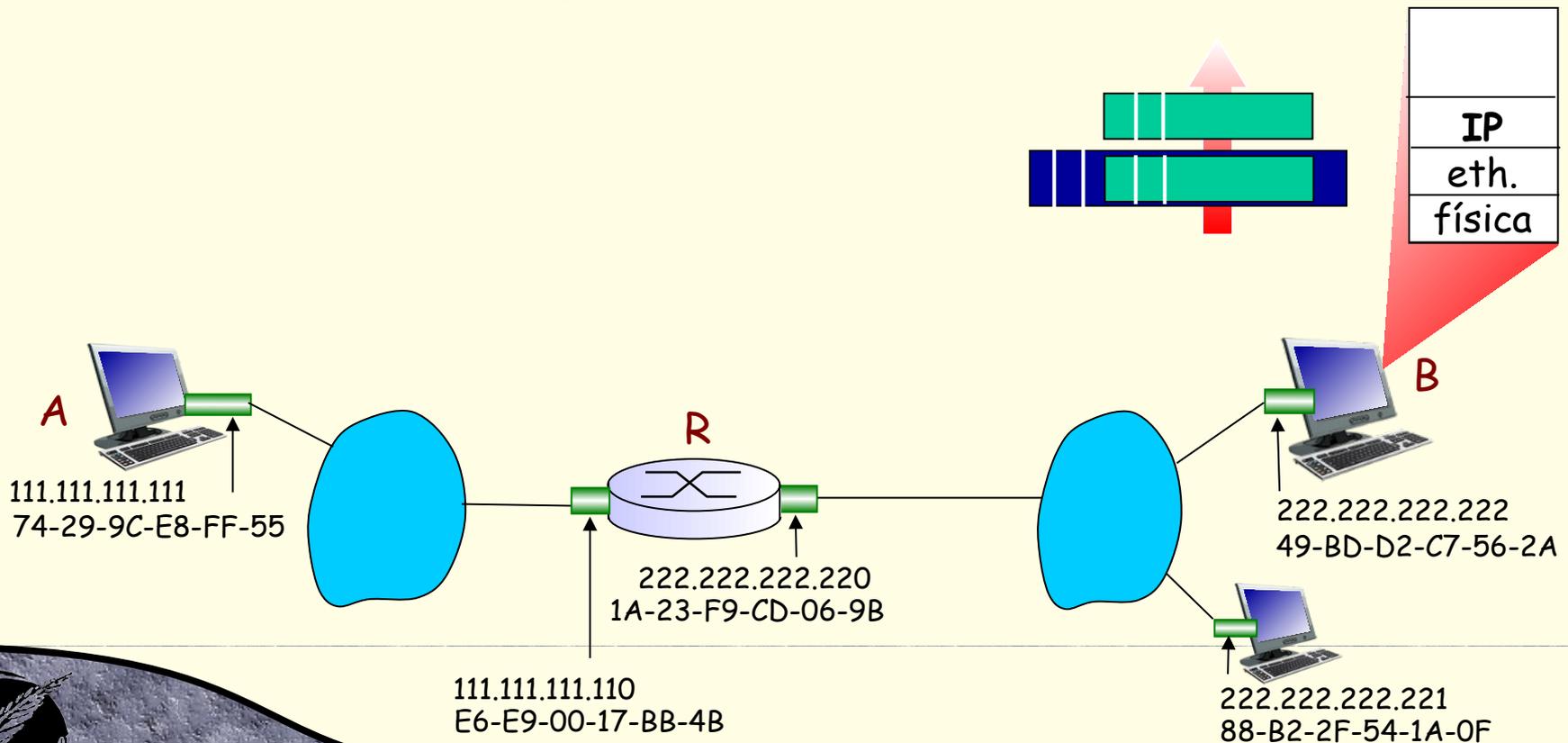
Ruteando a otra LAN

- **R** hace forward del datagrama **IP** de **A** para **B**
- Para esto, **R** crea una trama con la dirección **MAC** de **B** como destino, conteniendo este datagrama



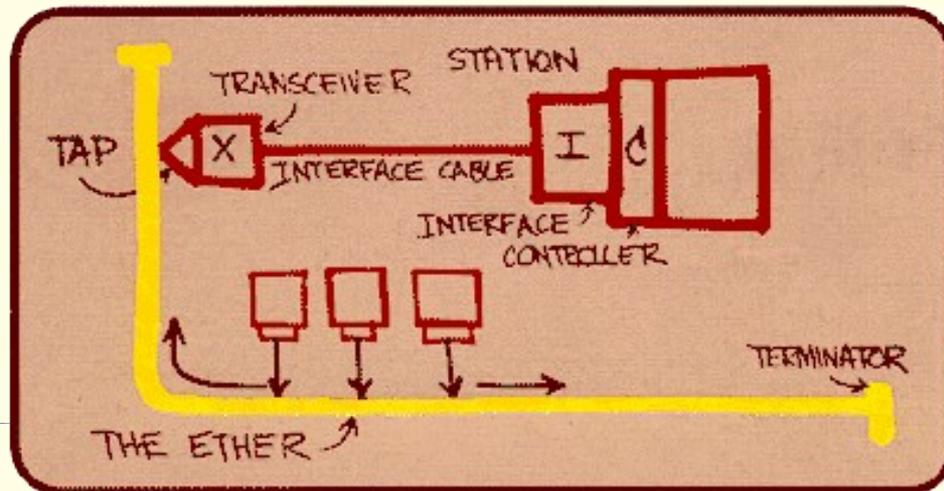
Ruteando a otra LAN

- La trama es enviada de **R** a **B**
- Al llegar la trama a **B**, finalmente se extrae y entrega en destino al datagrama **IP**



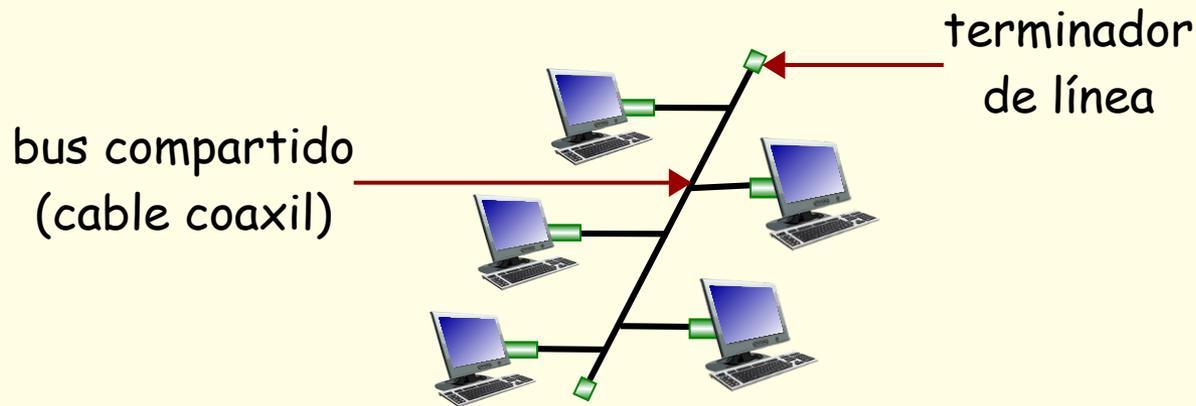
Ethernet

- Una de las tecnologías **LAN** más usada:
 - Económica
 - La primer tecnología **LAN** de uso masivo
 - Más simple que las tecnologías **LAN** con ficha o **ATM**
 - Actualizada en el tiempo: 10, 100, 1000, 10000Mbps



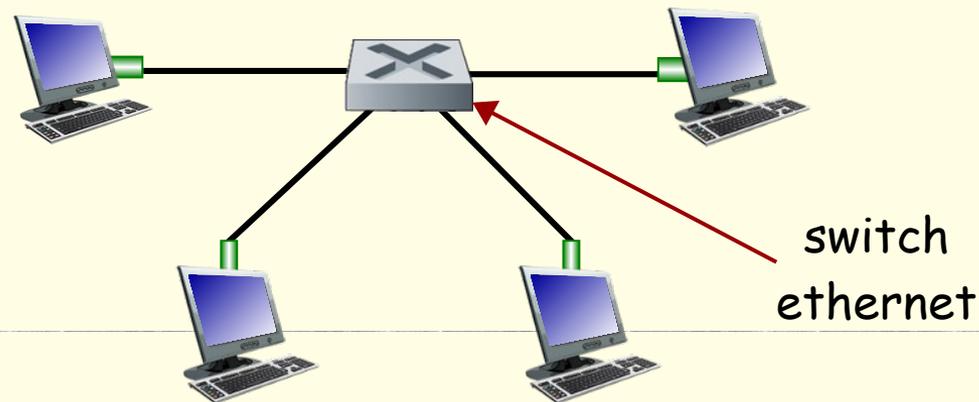
Topología de red

- Hasta mediados de la década del 90' la topología de red más utilizada era la **barra**
- Todos los nodos **comparten el mismo dominio de colisión**



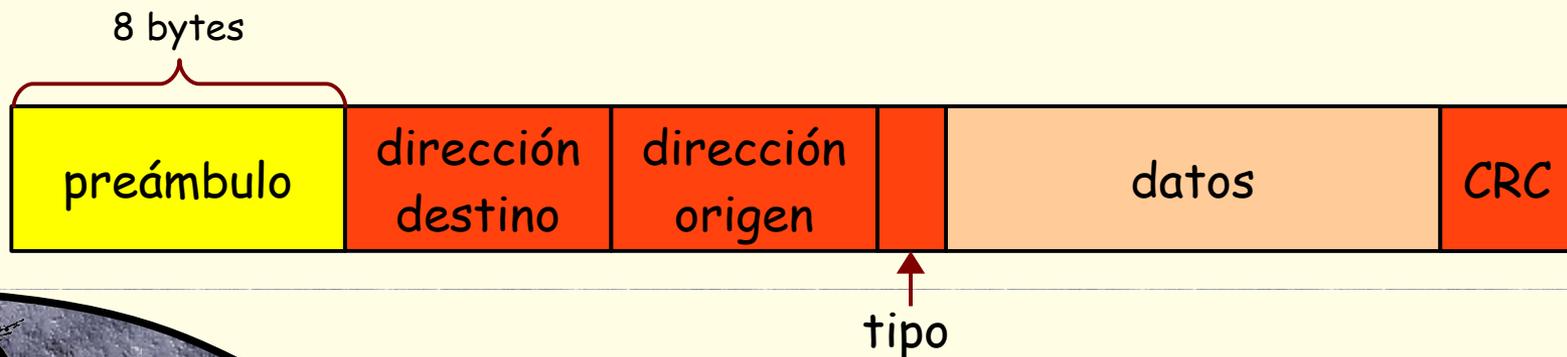
Topología de red

- En la actualidad se usa primordialmente la **topología estrella**
 - ➔ Se utiliza un switch activo en el centro
 - ➔ Cada “brazo” de la estrella corre un protocolo **Ethernet** independiente del resto (es decir, **constituye un dominio de colisión separado**)



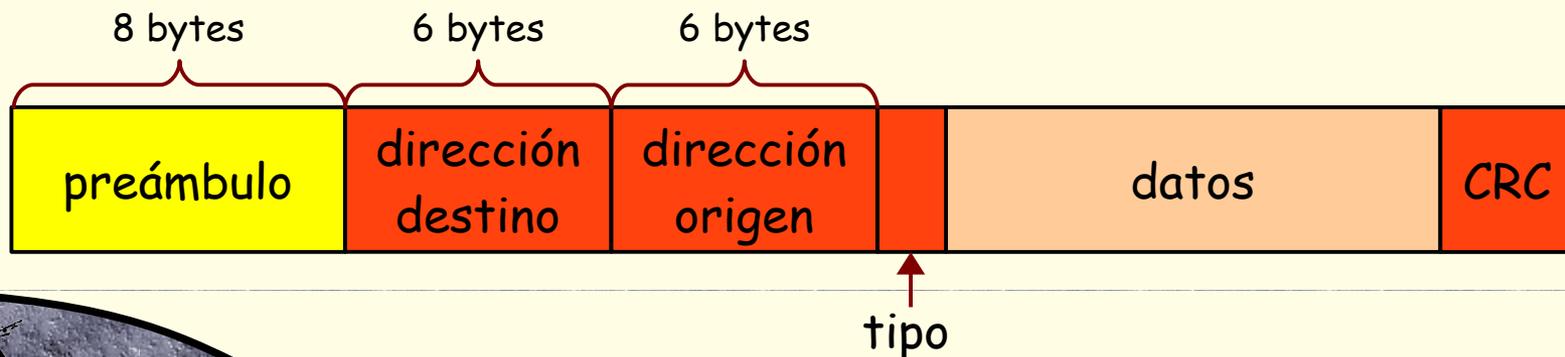
Frame ethernet

- La tramas **Ethernet** se componen de un encabezado, la carga útil y un finalizador
- Preámbulo (8 bytes):
 - ➔ Consta de 7 bytes con el patrón **10101010**, seguido de un byte con el patrón **10101011**
 - ➔ Es utilizado para **sincronizar los relojes** del emisor y receptor



Frame ethernet

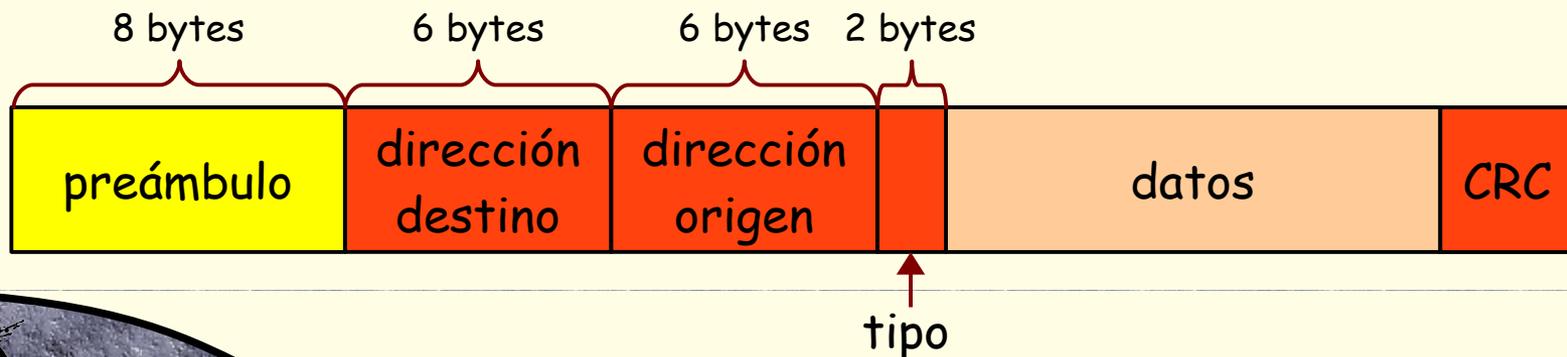
- Dirección origen y destino (6 bytes cada una):
 - Si el adaptador de red recibe una trama destinada a la dirección **MAC** propia o destinado a la dirección de broadcast, se alcanza el contenido del campo datos a la capa de red
 - Caso contrario, el adaptador descarta la trama



Frame ethernet

• Tipo (2 bytes):

- Denota el protocolo de la capa superior encapsulado dentro de la trama
- Se trata usualmente de un datagrama **IP**, pero otros protocolos también están soportados (por caso, protocolos como Novell **IPX** o AppleTalk)
- Anteriormente denotaba el largo de la trama



Frame ethernet

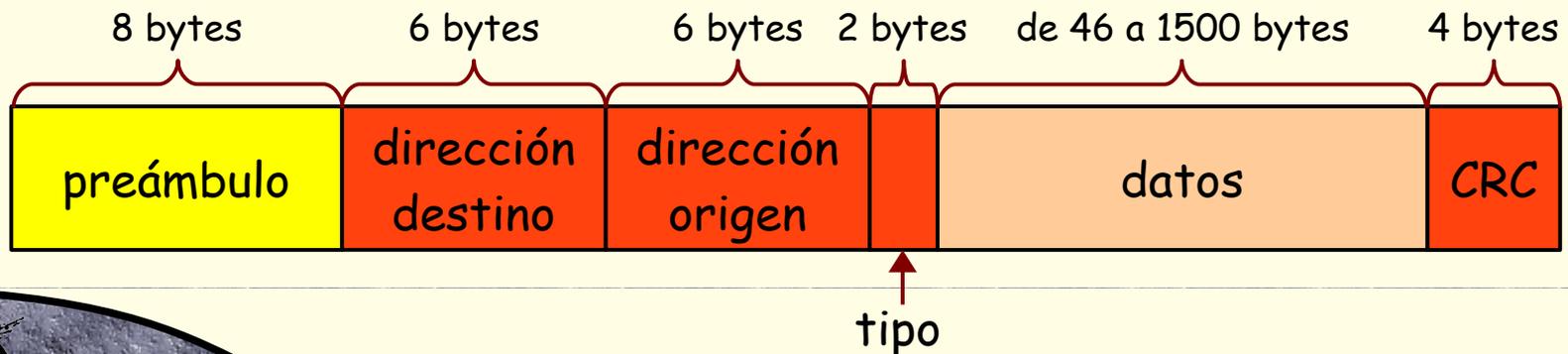
- Datos (de 46 a 1500 bytes):

- Es la carga útil, usualmente el protocolo de la capa superior encapsulado dentro de en la trama

- CRC (4 bytes):

- Se verifica en el receptor y de detectarse un error la trama es simplemente descartada

- Se hace uso del algoritmo **CRC-32**



Características del servicio

- Características del servicios de comunicación brindado por **Ethernet**:
 - ➔ **No orientado a la conexión**: no es necesario que emisor y receptor se pongan de acuerdo en nada antes de comenzar a intercambiar tramas
 - ➔ **No confiable**: el adaptador receptor no necesita enviar confirmaciones de recepción
 - ➔ La secuencia de datagramas pasada a la capa de red puede contener huecos
 - ➔ Los huecos serán llenados por el protocolo de la capa de transporte, o bien por la capa de aplicación



Tecnologías Ethernet

- Ethernet engloba a un conjunto heterogéneo de tecnologías a nivel de capa de enlace y de capa física, las cuales evolucionaron en el tiempo:
 - Ethernet **10BASE5**, **10BASE2**, **10BASE-T** y **10BASE-F**
 - Ethernet **100BASE-T4**, **100BASE-TX** y **100BASE-FX**
 - Ethernet **1000BASE-T**, **1000BASE-SX** y **1000BASE-KX**
 - Ethernet **10GBASE-T**, **10GBASE-SR** y **10GBASE-KR**
 - Ethernet **40GBASE-SR4** y **40GBASE-KR4**
 - Ethernet **100GBASE-LR4**, **400GBASE-ER8**



¿Preguntas?

