Ethernet

Area de Ingeniería Telemática
http://www.tlm.unavarra.es

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios

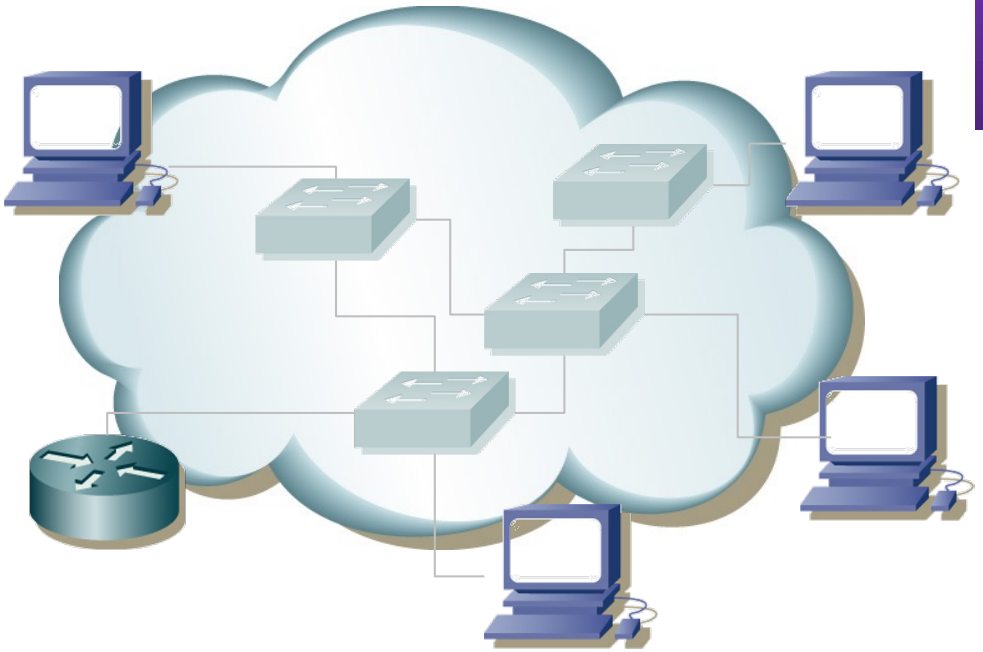
upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
Área de Ingeniería Telemática

Comunicación en la LAN

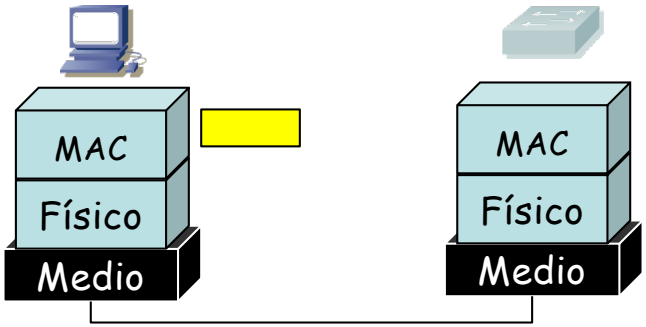
Sistemas finales

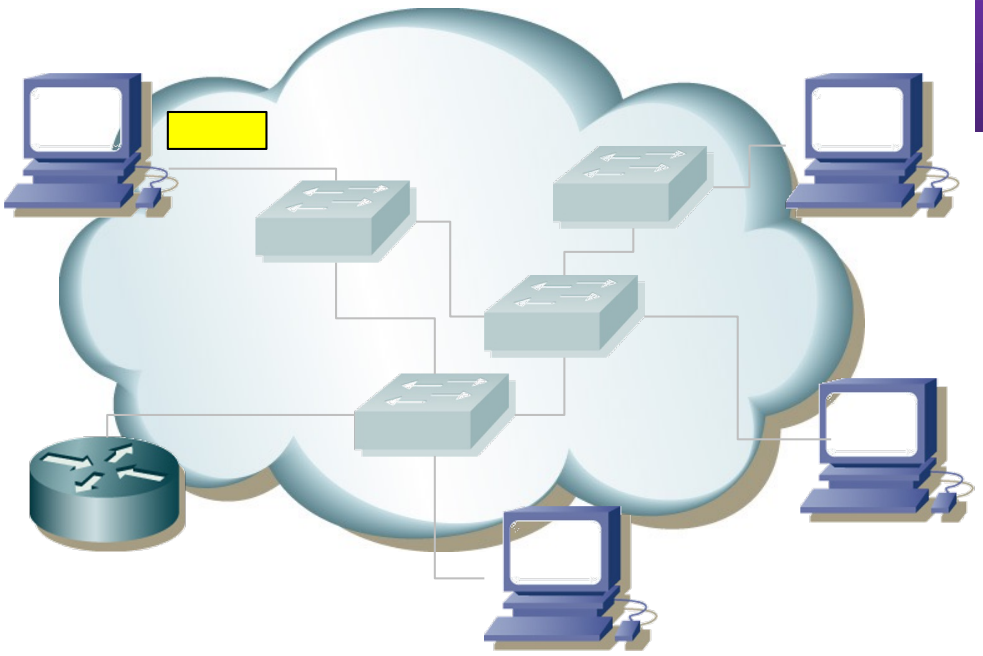
- La LAN Ethernet ofrece un servicio de entrega no garantizado para múltiples sistemas finales
- Los PCs son sistemas finales, pero no solo ellos
- Todo lo que no sea un elemento de la infraestructura de la red Ethernet será casi seguro un sistema final, un host
- Cuando veamos equipos del mundo IP, como los routers, veremos que de cara a la Ethernet son un sistema final más, idéntico al resto
- Cada host tiene una interfaz de red, normalmente mediante una NIC ("Network Interface Card")
- Capas 1 + 2



Comunicación en la LAN

- Un host entrega una trama al primer conmutador
- El medio físico va a ser normalmente un cable de cobre o fibra óptica
- El nivel físico resuelve el problema de hacer llegar la trama de un extremo al otro del cable

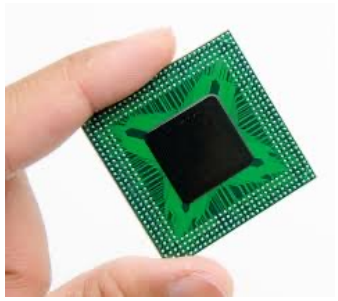


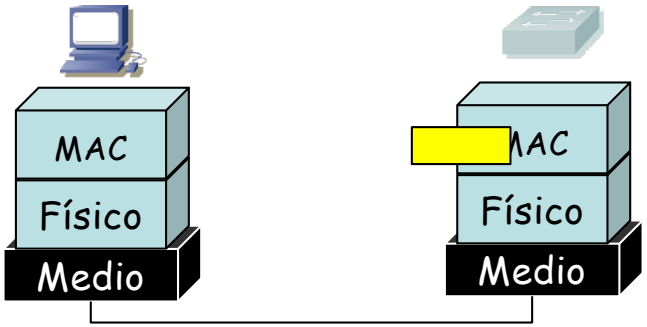


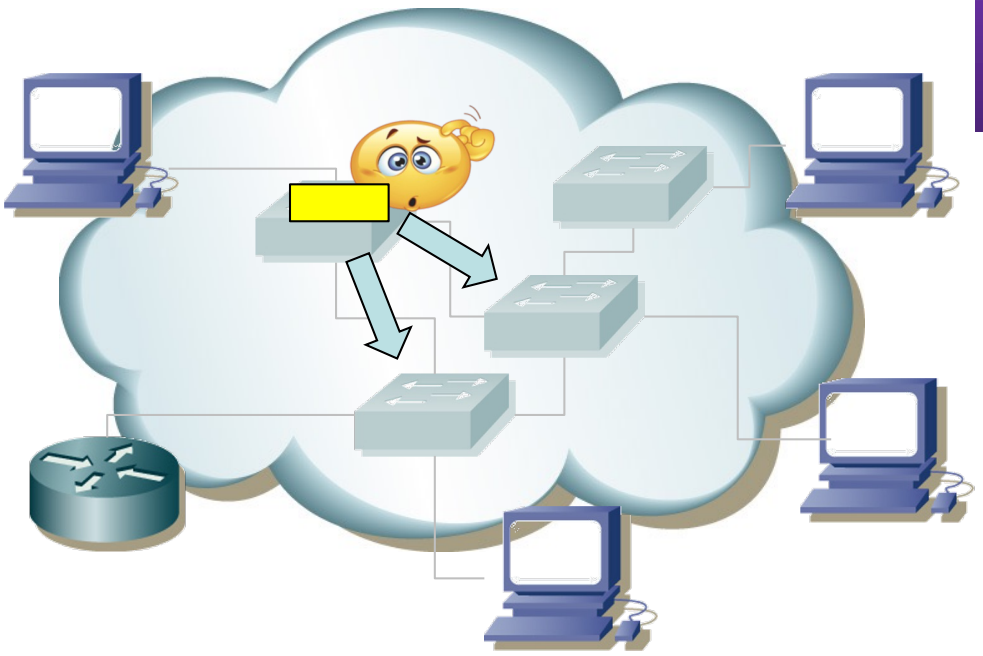
upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Comunicación en la LAN

- Normalmente la trama se almacena en memoria del conmutador
- El conmutador debe ahora decidir qué hacer con la trama para que llegue a su destino
- Esto es lógica en el conmutador, un programa
- Normalmente está implementado mediante electrónica digital (puertas lógicas) directamente en un ASIC (aunque hay conmutadores soft)
- ¿Pero cuál es el destino de esa trama?







Un poco de terminología

Términos

- **Conmutación de paquetes**
  - Un paquete es la unidad de datos que atraviesa la red
  - Normalmente suele ser la PDU de la tecnología de la que se esté hablando
  - En este caso es la PDU de nivel MAC Ethernet
  - Veremos más adelante tecnologías que no son de conmutación de paquetes

Términos

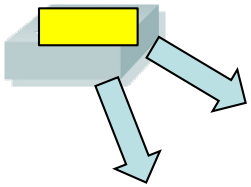
- **Conmutación de datagramas**
  - Es un subtipo de conmutación de paquetes
  - El paquete contiene toda la información que necesita la red para hacerlo llegar a su destino
  - Se puede enviar el datagrama sin necesidad de acciones de control previas (esto quedará claro más adelante)
  - En Ethernet el “paquete”, el “datagrama” y la “trama” o “frame” son lo mismo
  - Veremos más adelante tecnologías de conmutación de paquetes que NO son de conmutación de datagramas (son de otro subtipo)

Términos

- **Store & forward**
  - ”Almacenamiento y reenvío”
  - Hace referencia al modo de funcionamiento del conmutador
  - Recibe completamente el paquete en memoria y una vez que lo tiene toma una decisión
  - No es la única forma de hacerlo, pero es en la que nos centraremos en esta asignatura

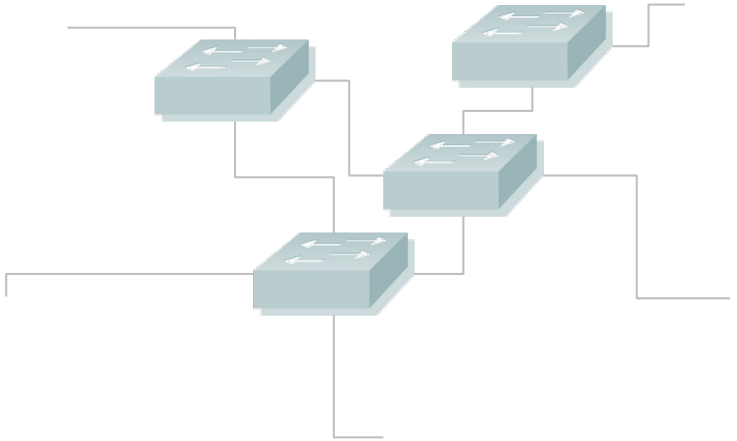
Términos

- **Forwarding (reenvío)**
  - Hace referencia a la decisión de por dónde reenviar el paquete
  - Y a la propia acción de reenviarlo



Términos

- **Routing (encaminamiento)**
  - Hace referencia al proceso de cálculo de los caminos a emplear
  - El routing es calcular el camino, el forwarding es la acción de reenviar el paquete por el camino calculado
  - Veremos que el routing lo podemos hacer a mano (calcular nosotros los caminos)
  - O podemos dejar que lo calculen programas (algoritmos)
  - Esos programas pueden ejecutarse en ordenadores centralizados o de forma distribuida en los conmutadores

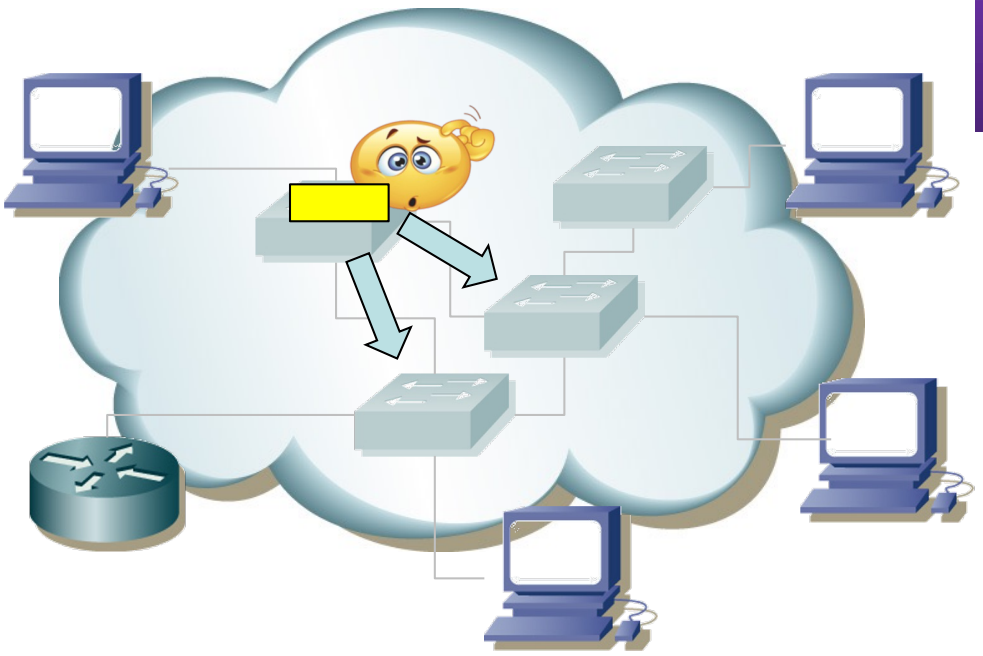


Direccionamiento

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

El problema

- El conmutador debe decidir qué hacer con la trama para que llegue a su destino
- ¿Pero cuál es el destino de esa trama?



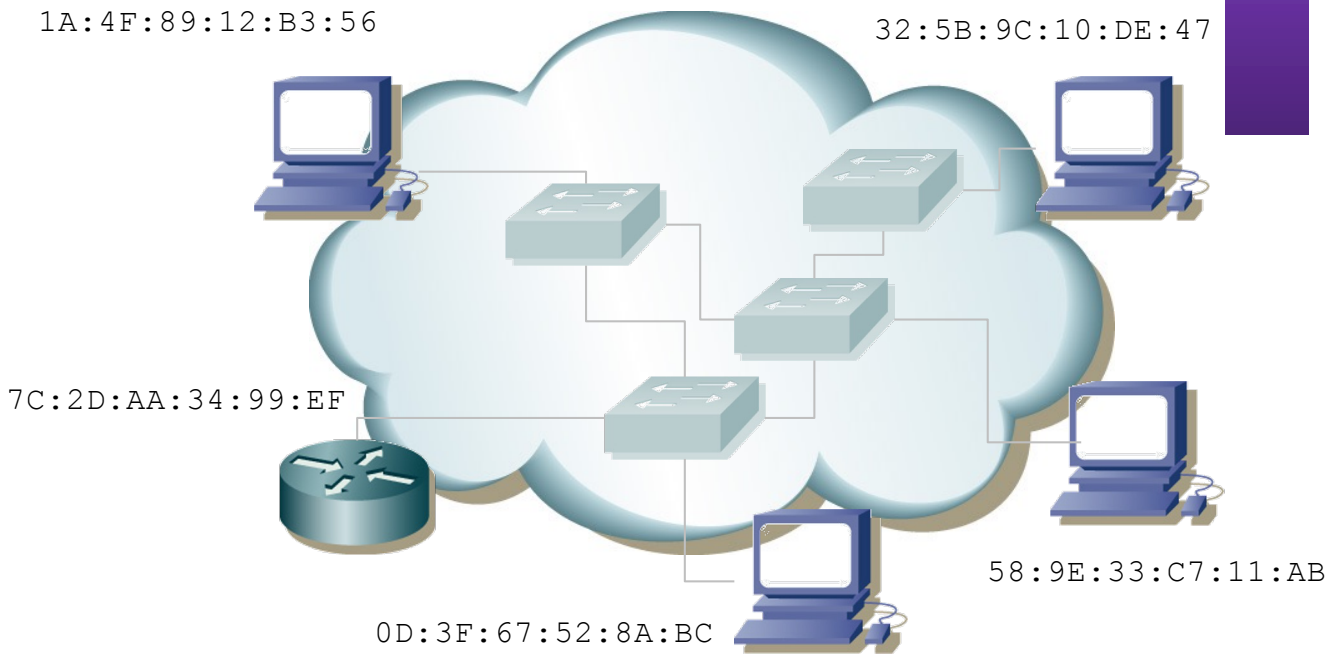
Direccionamiento

- Hemos dicho que Ethernet es una tecnología de conmutación de paquetes, en concreto de datagramas
- Entonces la trama Ethernet debe contener la información que necesita el conmutador para tomar la decisión de encaminamiento
- Ethernet emplea “direccionamiento”: Cada sistema final va a tener una dirección única
- En la trama especificamos la dirección del destinatario
- El encaminamiento calcula las rutas a los destinos en la red y el forwarding las aplica
- El reenvío se lleva a cabo en base a la dirección destino contenida en la cabecera del paquete
- En Ethernet esa cabecera la introduce el subnivel MAC

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Direcciones MAC

- Son números de 48 bits
- Algo como:
  011011000101110100101011010011011001010110101001
- Solemos representarlas en hexadecimal, separando por bytes:
  6c:5d:2b:4d:95:a9 ó **6c5d.2b4d.95a9**
- Asignada a la NIC por el fabricante



upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Ejemplo

- Interfaz Ethernet en Unix

```
daniel.morato@tlm11:~$ ifconfig eth0
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 00:1e:37:41:44:c6
          inet addr:10.1.1.11  Bcast:10.1.255.255  Mask:255.255.0.0
          inet6 addr: fe80::21e:37ff:fe41:44c6/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:532721 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:103880 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:65601118 (65.6 MB)  TX bytes:17790803 (17.7 MB)
          Interrupt:16 Memory:d0680000-d06a0000
```

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Direcciones MAC

- Espacio plano de direcciones, gestionados por el IEEE
- Los primeros 24 bits identifican al fabricante

  `00:00:0C` (y otros) = Cisco Systems

  `E0:73:E7` = HP

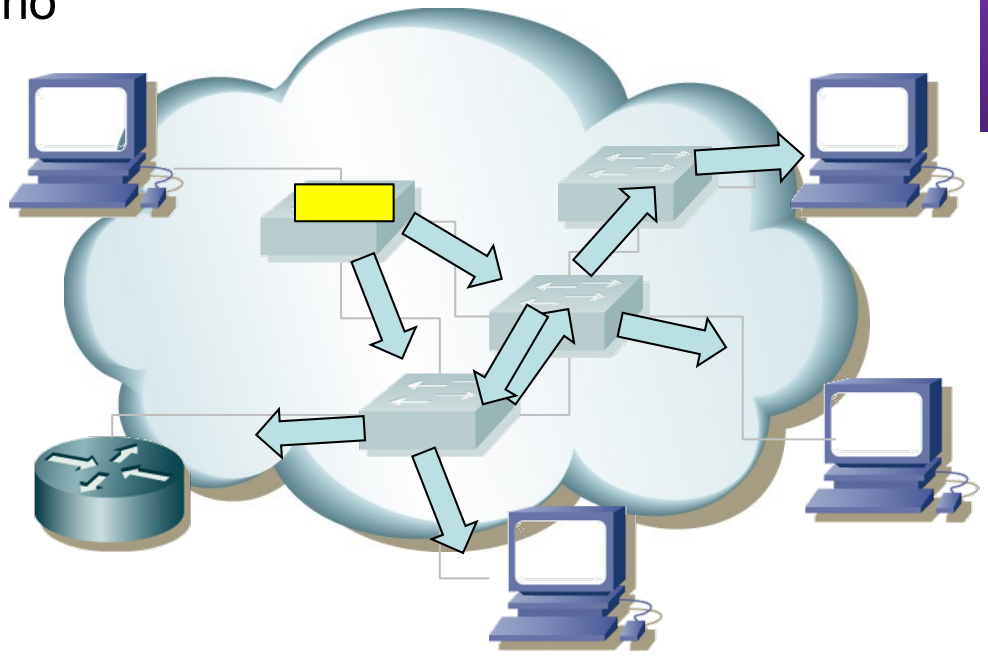
  `00:20:AF` (y otros) = 3Com

https://standards-oui.ieee.org

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Direcciones MAC

- Tipos de direcciones
  - Individual/Grupo: octavo bit está a 0/1
  - Broadcast: todos los bits están a 1
  - Universal/Local: séptimo bit está a 0/1
- Ethernet ofrece un servicio de multidifusión y de broadcast
- Envío de la trama una sola vez y que la red la haga llegar a múltiples / todos los hosts
- La dirección de broadcast es: `FF:FF:FF:FF:FF:FF`
- Solo tiene sentido como destino



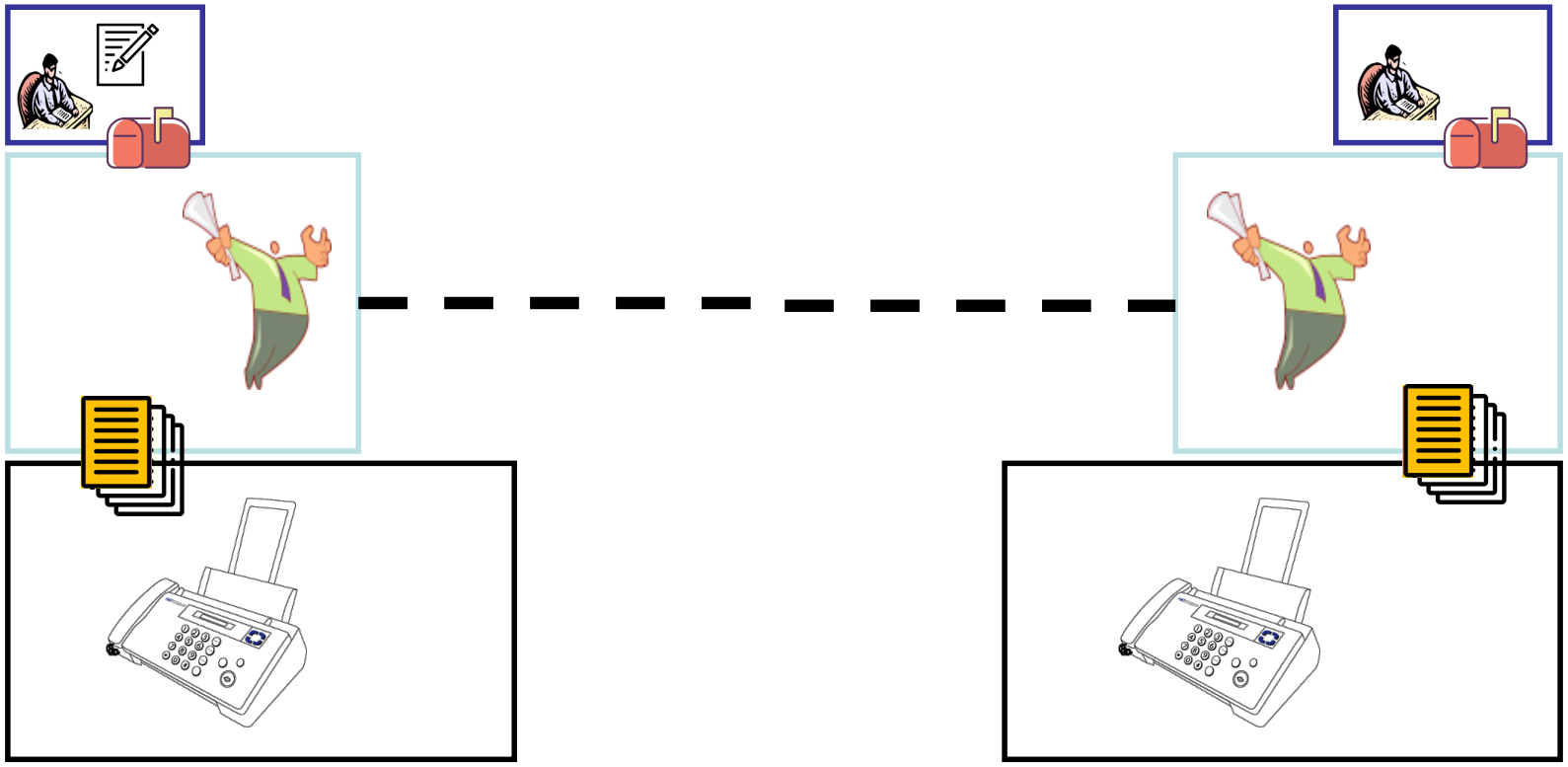
upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Direccionamiento

- Vamos a ver muchos protocolos que lo ofrecen
- Se repetirá el esquema de una cabecera que contiene la dirección de un origen y un destino
- Las direcciones podrán ser físicas (asignadas a una interfaz física) o lógicas (asignado a un elemento software)
- El origen puede ser directamente un programa y el destino otro
- Serán de mayor o menor número de bytes, incluso de tamaño variable
- Con significado universal (únicas en el mundo) o con posibilidad de repetirse
- Van a depender del protocolo en cuestión

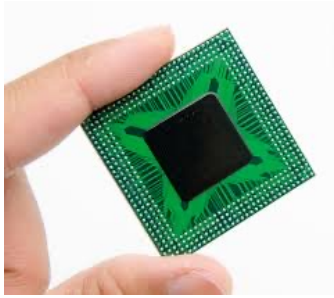
Ejemplo

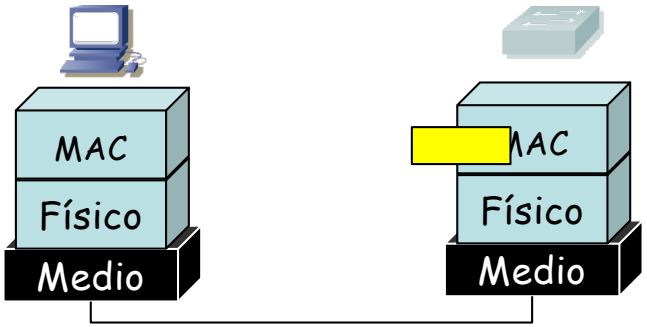
- En esta comunicación son direcciones:
  - El nombre de remitente y de destinatario
  - El número de teléfono de la oficina destino
- Están en diferente capa

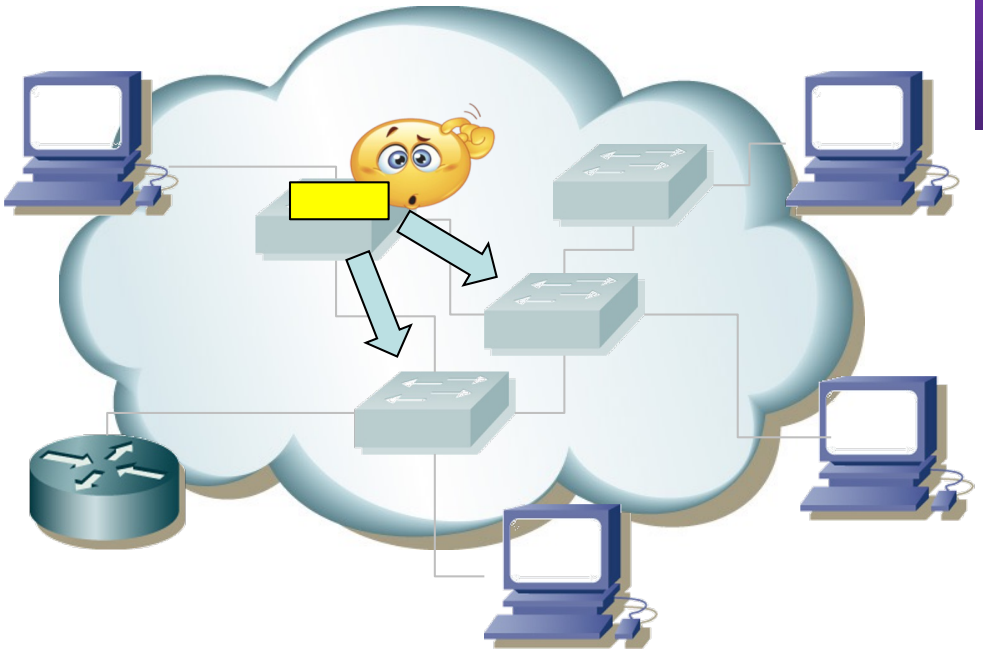


Comunicación en la LAN

- Así pues, el conmutador sabe cuál es el destino porque lo pone en la cabecera
- ¿Pero por dónde debe reenviarla?



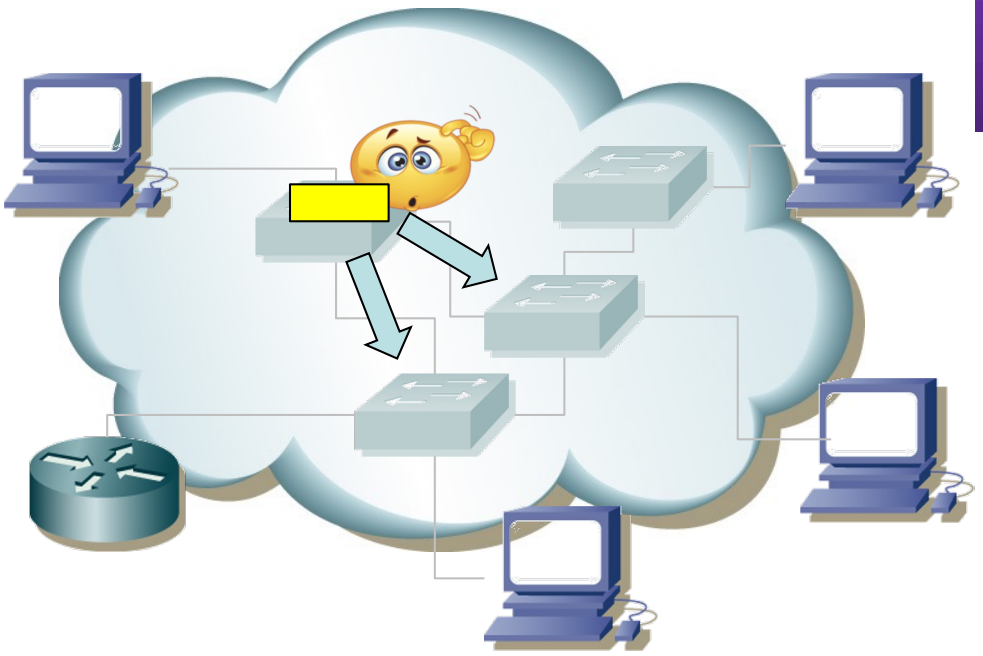




Encapsulado Ethernet

El problema

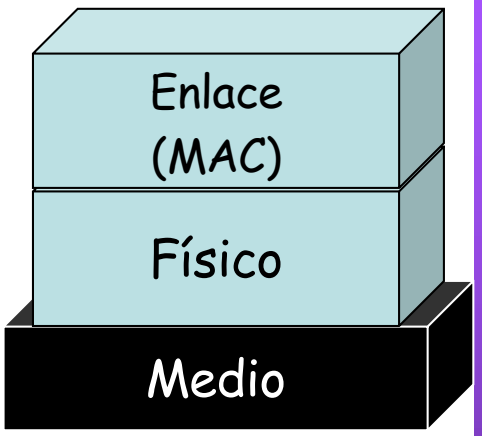
- El conmutador debe decidir qué hacer con la trama para que llegue a su destino
- Origen y destino de la trama vienen en la cabecera de la misma
- ¿Puede transmitir la trama cuando quiera?
- ¿Por dónde debe reenviarla?
- Antes de eso completemos: ¿Cómo es exactamente la trama? ¿Contiene algo más?



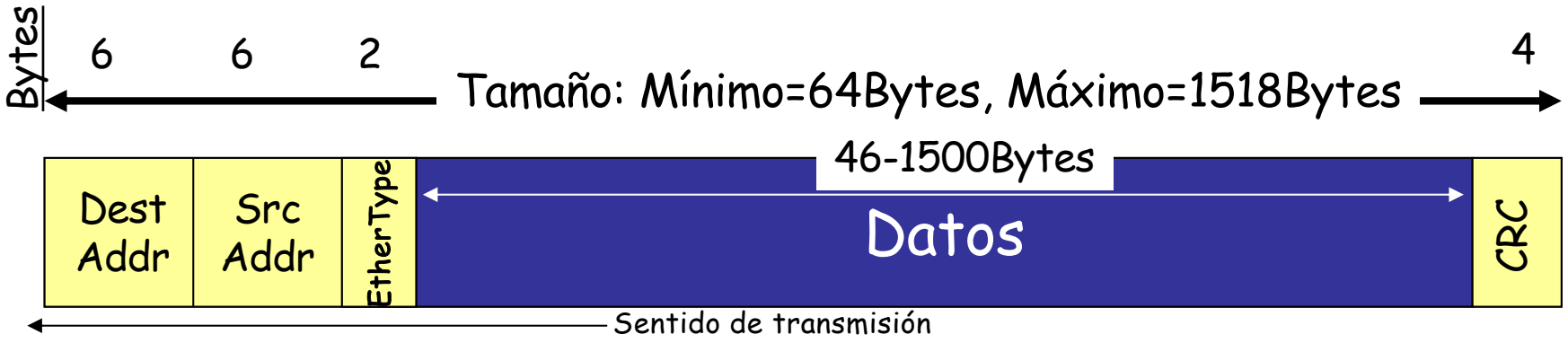
Estándar DIX (Ethernet II)

- DIX = Digital, Intel, Xerox
- Formato de la trama
  - Direcciones MAC
  - Tipo de datos (Ethertype)
  - Datos
  - CRC (Trailer)

} Header

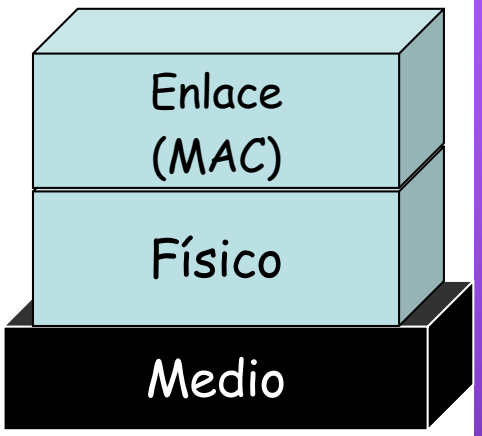


- MTU (Maximum Transmission Unit) de 1.500 bytes
- Este es el formato más frecuente
- Hoy en día integrado en el estándar 802.3

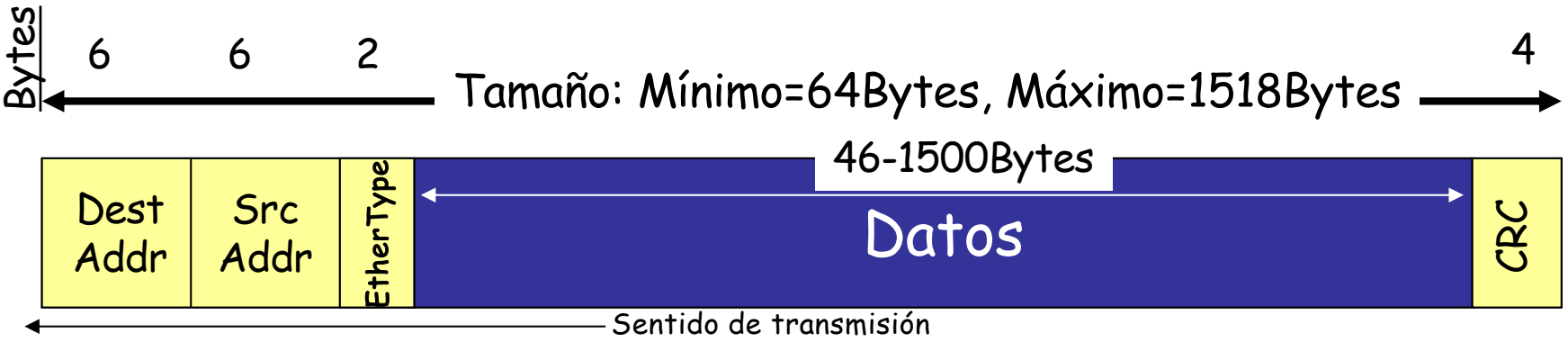


Ethertype

- Ethertype > 1.500
- Identifica el protocolo del contenido
- Ignorado por conmutadores
- Procesado por el destino de la trama
- Ethertype
  - 2048 (0x0800) = IPv4
  - 34525 (0x86DD) = IPv6
  - 32923 (0x809B) = AppleTalk
  - 2054 (0x0806) = ARP
  - 32981 (0x80D5) = IBM SNA



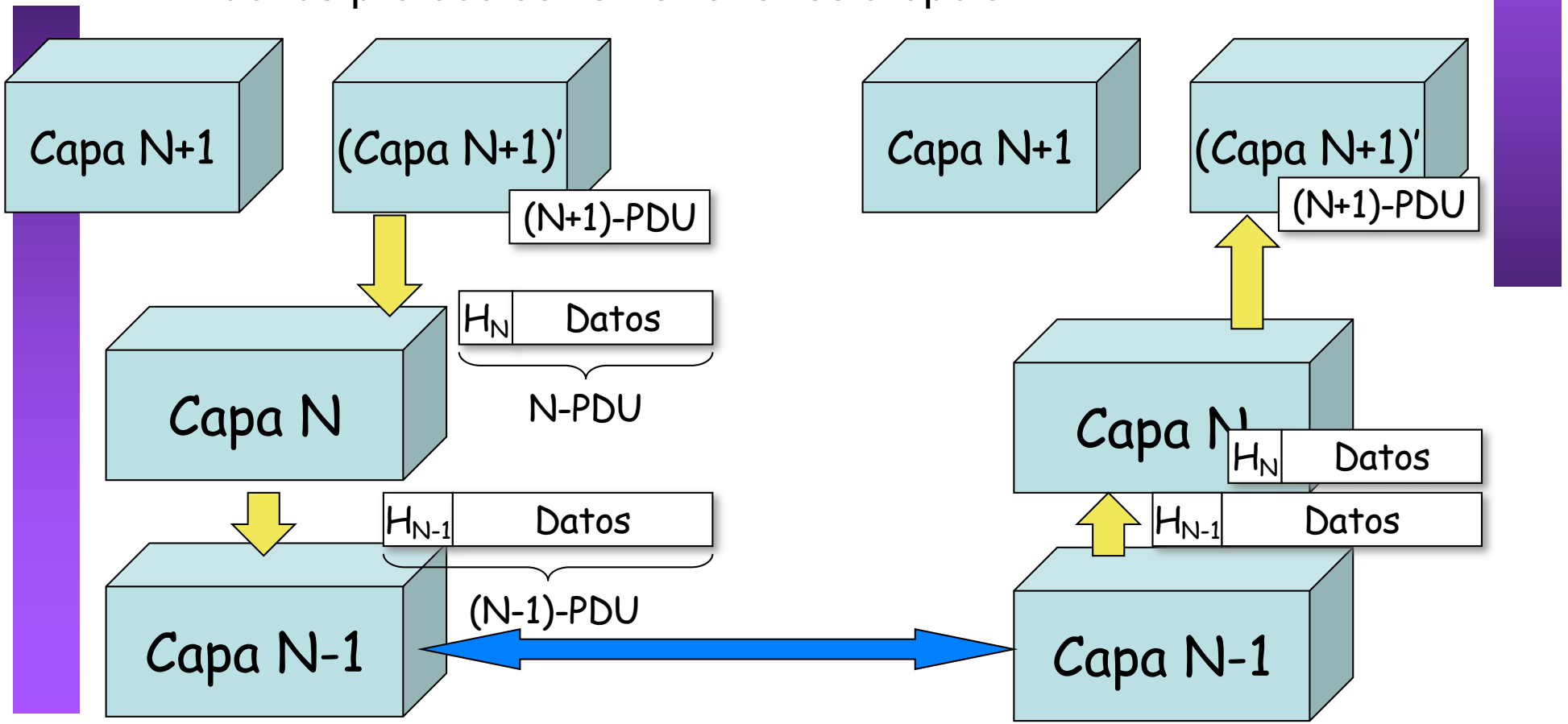
[1] http://www.iana.org/assignments/ethernet-numbers



upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

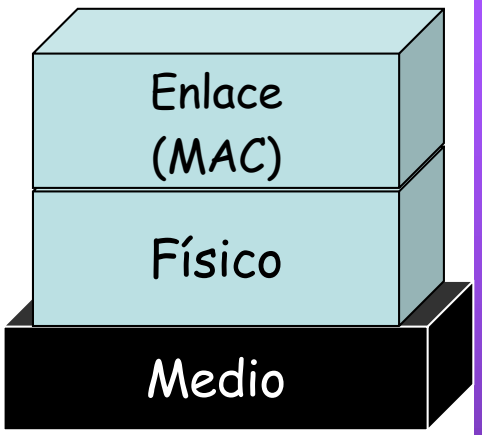
Ethertype: Multiplexación

- Permite que diferentes tramas transporten PDUs de diferentes protocolos
- Lo habitual es que un campo de la cabecera N nos diga qué protocolo de nivel N+1 contiene
- Muchos protocolos van a tener esta opción



Trama IEEE

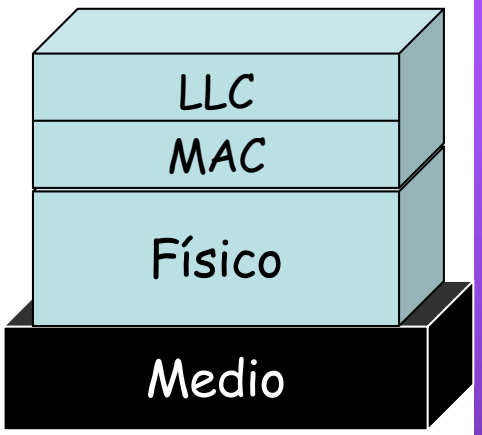
- IEEE 802.3 (MAC)
- Formato de la trama
  - Direcciones MAC
  - **Longitud**
  - Datos
  - CRC
- Campo Longitud (de lo que le sigue, sin el CRC)

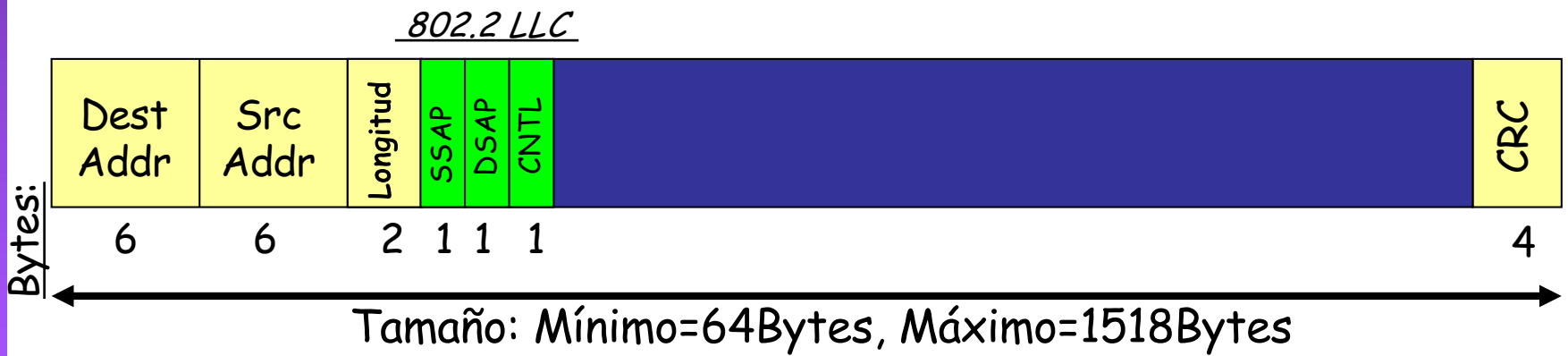


upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Trama IEEE

- IEEE 802.3 + 802.2 (LLC)
- *Unacknowledged connectionless*

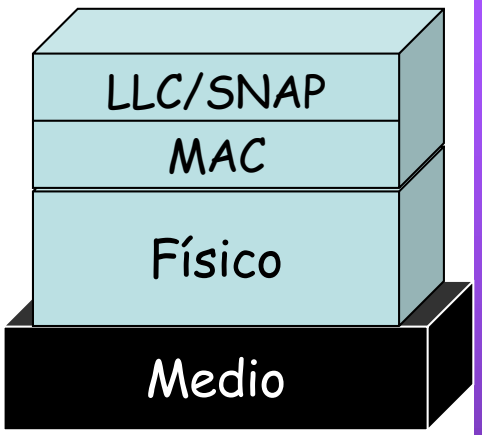


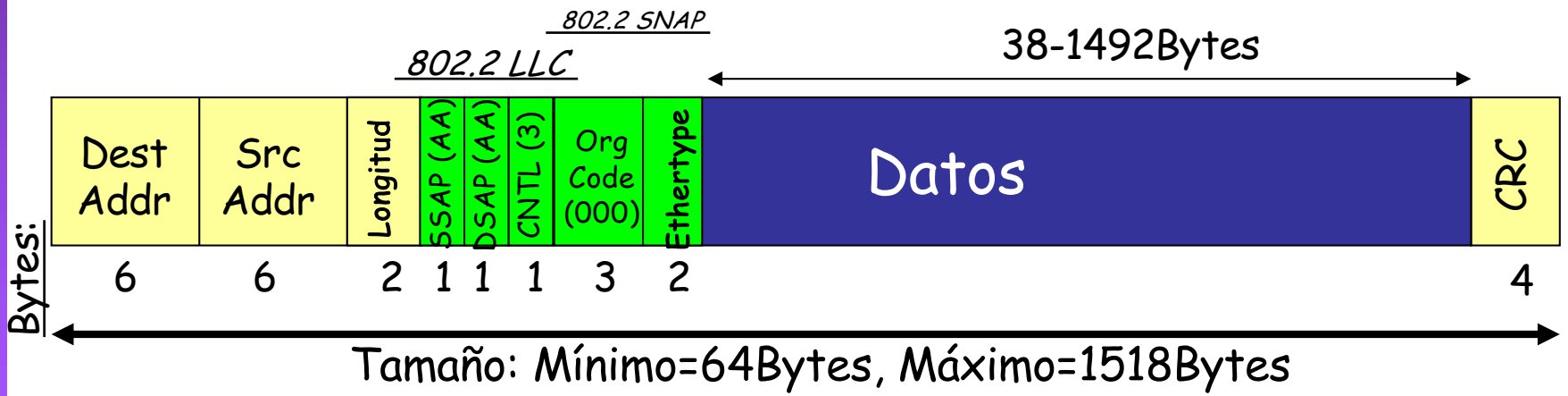


upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Trama IEEE

- IEEE 802.3 + 802.2 (LLC/SNAP)
- MTU 1.492 bytes
- Encapsulado con Ethertype

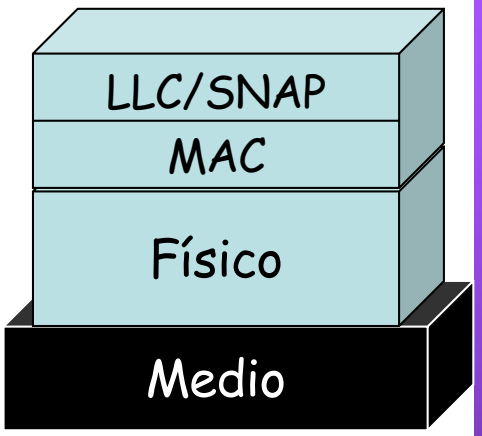


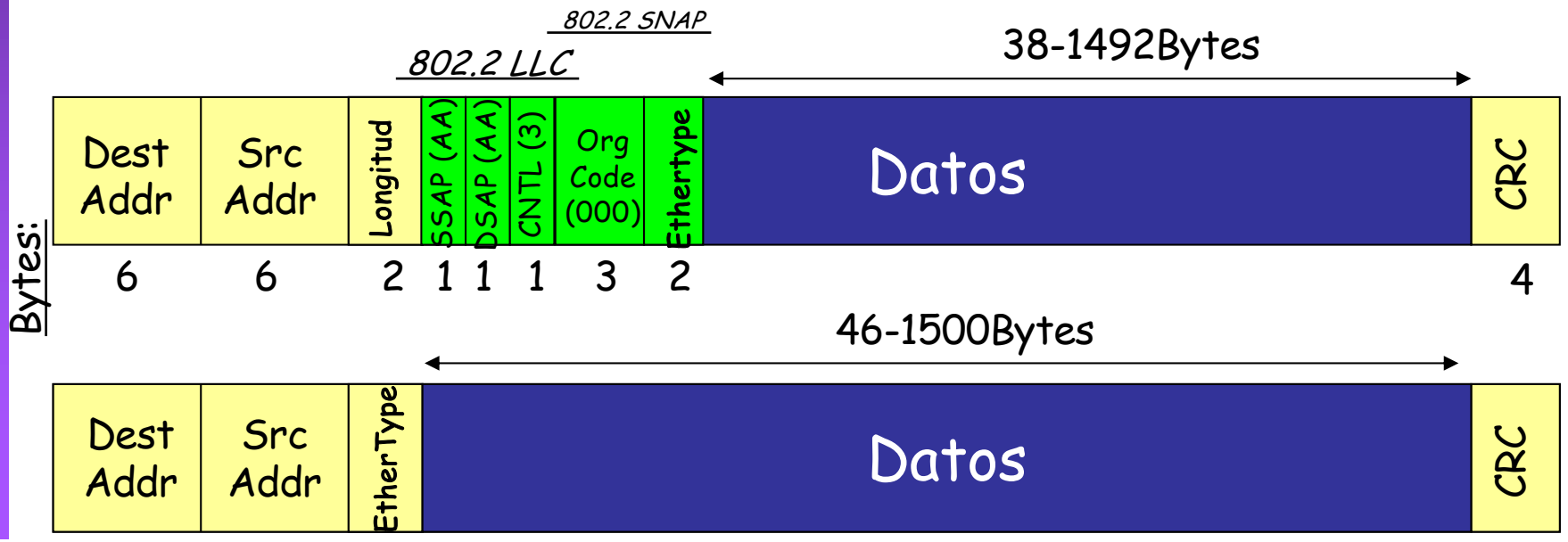


upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Ambos formatos

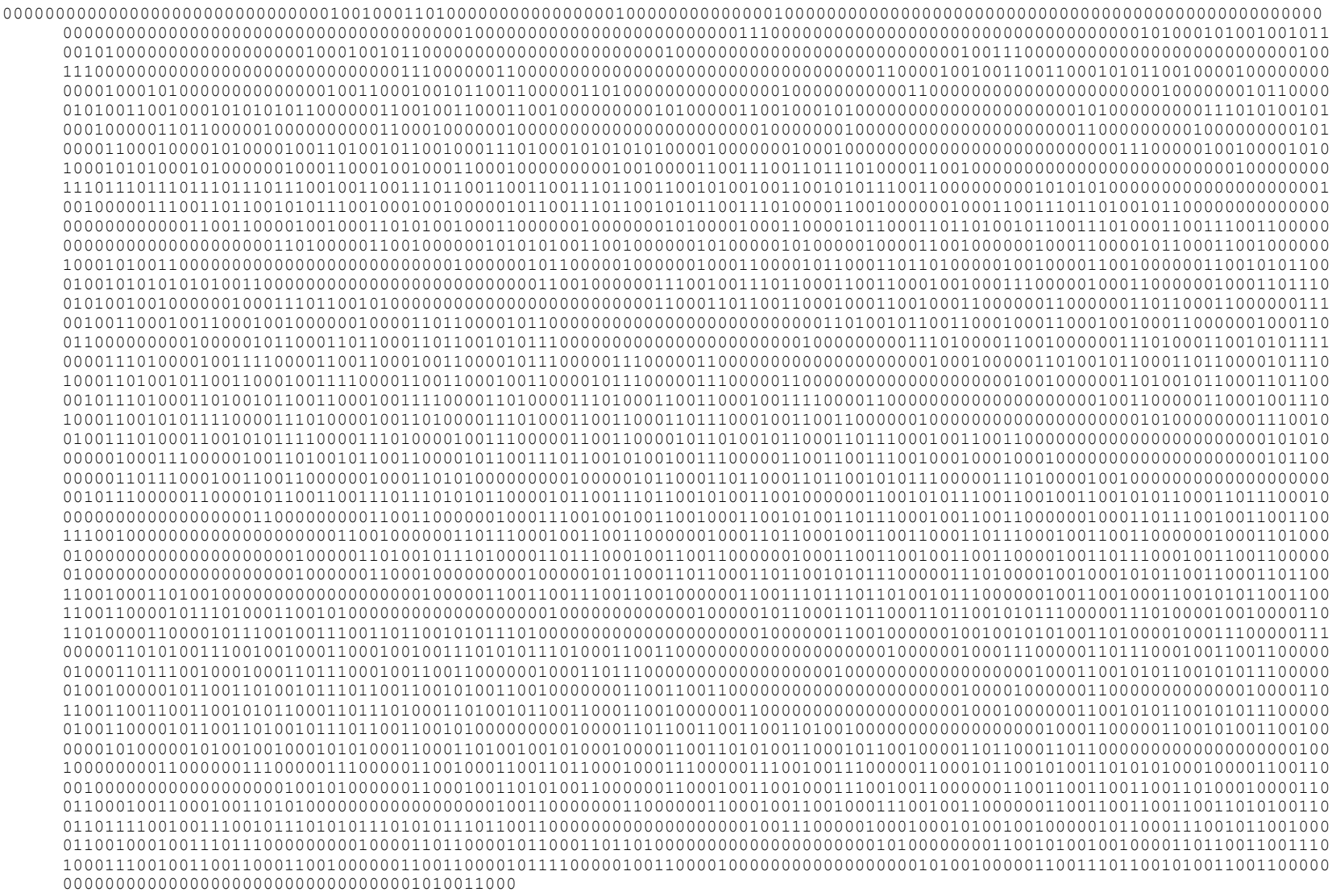
- Ethertype > 1.500 para distinguir los formatos (en realidad ≥ 1536 = 0x0600)





upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Ejemplo de encapsulado



Esto es una trama Ethernet

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Ejemplo de encapsulado

```
0000 0c07 ac03 000d 9331 59fa 0800 4500 0262 5983 4000 4006 5fbc 82ce
   a99f d155 8193 d19a 0050 6a45 0f75 28d8 c360 8018 ffff 81ab 0000
   0101 080a 2a86 df2e 1426 9e6d 4745 5420 2f20 4854 5450 2f31 2e31
   0d0a 486f 7374 3a20 7777 772e 676f 6f67 6c65 2e65 730d 0a55 7365
   722d 4167 656e 743a 204d 6f7a 696c 6c61 2f35 2e30 2028 4d61 6369
   6e74 6f73 683b 2055 3b20 5050 4320 4d61 6320 4f53 2058 204d 6163
   682d 4f3b 2065 6e2d 5553 3b20 7276 3a31 2e38 2e30 2e37 2920 4765
   636b 6f2f 3230 3036 3039 3131 2043 616d 696e 6f2f 312e 302e 330d
   0a41 6363 6570 743a 2074 6578 742f 786d 6c2c 6170 706c 6963 6174
   696f 6e2f 786d 6c2c 6170 706c 6963 6174 696f 6e2f 7868 746d 6c2b
   786d 6c2c 7465 7874 2f68 746d 6c3b 713d 302e 392c 7465 7874 2f70
   6c61 696e 3b71 3d30 2e38 2c69 6d61 6765 2f70 6e67 2c2a 2f2a 3b71
   3d30 2e35 0d0a 4163 6365 7074 2d4c 616e 6775 6167 653a 2065 732c
   656e 3b71 3d30 2e39 2c64 653b 713d 302e 372c 6672 3b71 3d30 2e36
   2c6e 6c3b 713d 302e 342c 6974 3b71 3d30 2e33 2c6a 613b 713d 302e
   310d 0a41 6363 6570 742d 456e 636f 6469 6e67 3a20 677a 6970 2c64
   6566 6c61 7465 0d0a 4163 6365 7074 2d43 6861 7273 6574 3a20 4953
   4f2d 3838 3539 2d31 2c75 7466 2d38 3b71 3d30 2e37 2c2a 3b71 3d30
   2e37 0d0a 4b65 6570 2d41 6c69 7665 3a20 3330 300d 0a43 6f6e 6e65
   6374 696f 6e3a 206b 6565 702d 616c 6976 650d 0a43 6f6f 6b69 653a
   2050 5245 463d 4944 3d35 3164 3636 3038 3832 3362 3839 3831 653a
   544d 3d31 3135 3031 3239 3033 333a 4c4d 3d31 3135 3031 3239 3033
   333a 533d 7939 7575 7a66 4452 416a 396d 4e32 2d77 0d0a 4361 6368
   652d 436f 6e74 726f 6c3a 206d 6178 2d61 6765 3d30 0d0a 0d0a
```

Lo mismo pero en hexadecimal, por comodidad

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Ejemplo de encapsulado

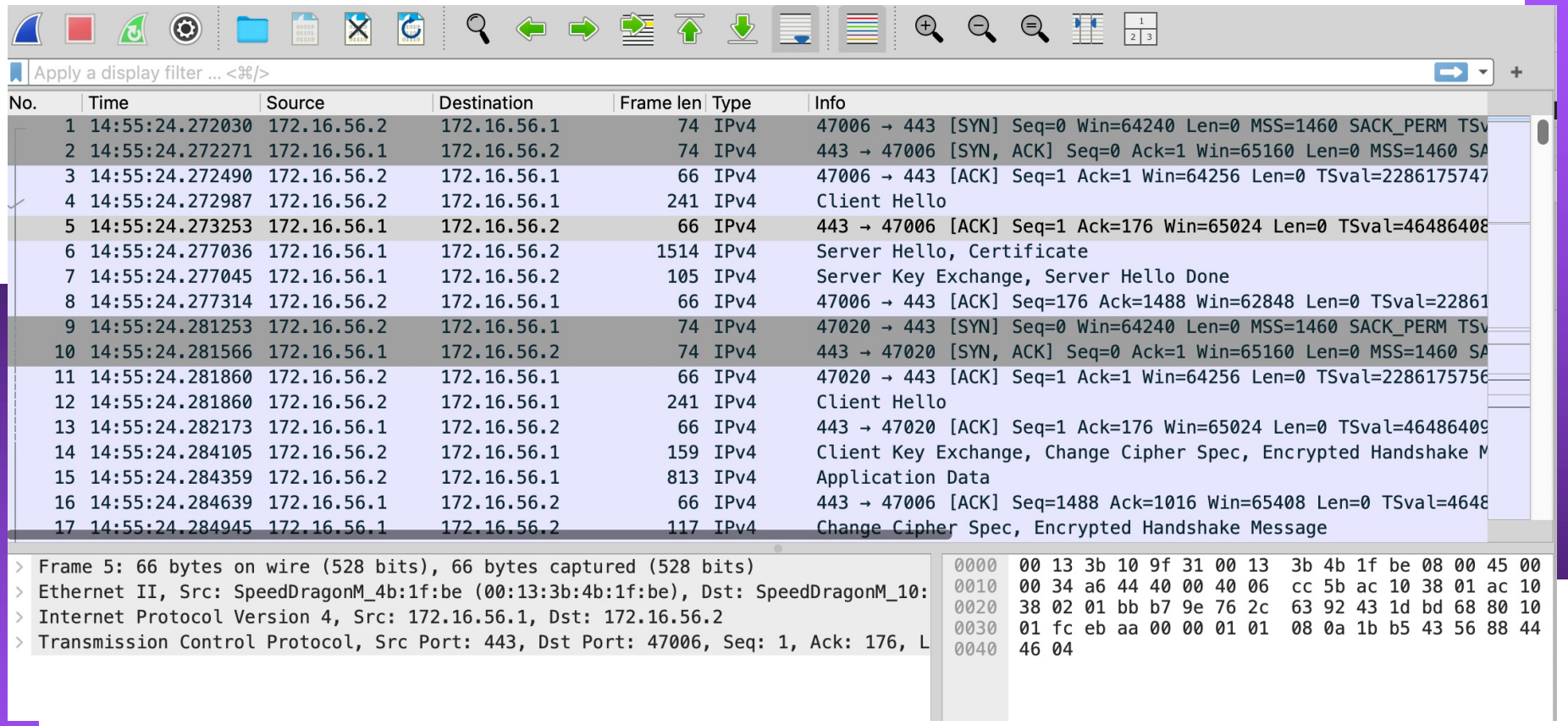
```
0000  0c07 ac03 000d 9331 59fa 0800 4500 0262 5983 4000 4006 5fbc 82ce
      a99f d155 8198 d19a 0050 6a45 0f75 28d8 c360 8018 ffff 81ab 0000
      0101 080a 2a86 df2e 1426 9e6d 4745 5420 2f20 4854 5450 2f31 2e31
      0d0a 486f 7374 3a20 7777 772e 676f 6f67 6c65 2e65 730d 0a55 7365
      722d 4167 656e 743a 204d 6f7a 696c 6c61 2f35 2e30 2028 4d61 6369
      6e74 6f73 683b 2055 3b20 5050 4320 4d61 6320 4f53 2058 204d 6163
      682d 4f3b 2065 6e2d 5553 3b20 7276 3a31 2e38 2e30 2e37 2920 4765
      636b 6f2f 3230 3036 3039 3131 2043 616d 696e 6f2f 312e 302e 330d
      0a41 6363 6570 743a 2074 6578 742f 786d 6c2c 6170 706c 6963 6174
      696f 6e2f 786d 6c2c 6170 706c 6963 6174 696f 6e2f 7868 746d 6c2b
      786d 6c2c 7465 7874 2f68 746d 6c3b 713d 302e 392c 7465 7874 2f70
      6c61 696e 3b71 3d30 2e38 2c69 6d61 6765 2f70 6e67 2c2a 2f2a 3b71
      3d30 2e35 0d0a 4163 6365 7074 2d4c 616e 6775 6167 653a 2065 732c
      656e 3b71 3d30 2e39 2c64 653b 713d 302e 372c 6672 3b71 3d30 2e36
      2c6e 6c3b 713d 302e 342c 6974 3b71 3d30 2e33 2c6a 613b 713d 302e
      310d 0a41 6363 6570 742d 456e 636f 6469 6e67 3a20 677a 6970 2c64
      6566 6c61 7465 0d0a 4163 6365 7074 2d43 6861 7273 6574 3a20 4953
      4f2d 3838 3539 2d31 2c75 7466 2d38 3b71 3d30 2e37 2c2a 3b71 3d30
      2e37 0d0a 4b65 6570 2d41 6c69 7665 3a20 3330 300d 0a43 6f6e 6e65
      6374 696f 6e3a 206b 6565 702d 616c 6976 650d 0a43 6f6f 6b69 653a
      2050 5245 463d 4944 3d35 3164 3636 3038 3832 3362 3839 3831 653a
      544d 3d31 3135 3031 3239 3033 333a 4c4d 3d31 3135 3031 3239 3033
      333a 533d 7939 7575 7a66 4452 416a 396d 4e32 2d77 0d0a 4361 6368
      652d 436f 6e74 726f 6c3a 206d 6178 2d61 6765 3d30 0d0a 0d0a
```

Cabecera Ethernet

Ethertype 2048 (IP)

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

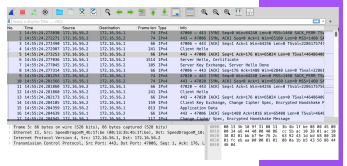
Ejemplo en Wireshark



https://www.wireshark.org

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Ejemplo en Wireshark



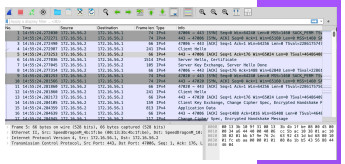
```
0000  00 13 3b 4b 1f be 00 13  3b 10 9f 31 08 00 45 00   ··;K···· ;··1··E·
0010  00 e3 d5 7e 40 00 40 06  9c 72 ac 10 38 02 ac 10   ···~@·@· ·r··8···
0020  38 01 b7 9e 01 bb 43 1d  bc b9 76 2c 63 92 80 18   8·····C· ··v,c···
0030  01 f6 46 1f 00 00 01 01  08 0a 88 44 46 04 1b b5   ··F····· ···DF···
0040  43 55 16 03 01 00 aa 01  00 00 a6 03 03 d5 62 99   CU······ ······b·
0050  bf c9 97 3b eb f9 5f ad  35 50 b1 de 91 b8 e7 c7   ···;··_· 5P······
0060  46 85 5d cb 23 ed 39 a7  bf c7 68 e9 73 00 00 1a   F·]·#·9· ··h·s···
0070  9a 9a c0 2b c0 2f c0 2c  c0 30 cc a9 cc a8 c0 13   ···+·/·, ·0······
0080  c0 14 00 9c 00 9d 00 2f  00 35 01 00 00 63 ba ba   ·······/ ·5···c··
0090  00 00 00 0b 00 02 01 00  ff 01 00 01 00 00 12 00   ········ ········
00a0  00 00 05 00 05 01 00 00  00 00 00 1b 00 03 02 00   ········ ········
00b0  02 00 10 00 0b 00 09 08  68 74 74 70 2f 31 2e 31   ········ http/1.1
00c0  00 0d 00 12 00 10 04 03  08 04 04 01 05 03 08 05   ········ ········
00d0  05 01 08 06 06 01 00 17  00 00 00 23 00 00 00 0a   ········ ···#····
00e0  00 0a 00 08 ea ea 00 1d  00 17 00 18 2a 2a 00 01   ········ ····**··
00f0  00                                                 ·
```

```
> Frame 4: 241 bytes on wire (1928 bits), 241 bytes captured (1928 bits)
> Ethernet II, Src: SpeedDragonM_10:9f:31 (00:13:3b:10:9f:31), Dst: SpeedDragonM_4b:1f:be (00:13:3b:4b:1f:be)
> Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.56.2, Dst: 172.16.56.1
> Transmission Control Protocol, Src Port: 47006, Dst Port: 443, Seq: 1, Ack: 1, Len: 175
> Transport Layer Security
```

https://www.wireshark.org

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Ejemplo en Wireshark



```
> Frame 5: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits)
v Ethernet II, Src: SpeedDragonM_4b:1f:be (00:13:3b:4b:1f:be), Dst: SpeedDragonM_10:
  > Destination: SpeedDragonM_10:9f:31 (00:13:3b:10:9f:31)
  > Source: SpeedDragonM_4b:1f:be (00:13:3b:4b:1f:be)
    Type: IPv4 (0x0800)
    [Stream index: 0]
> Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.56.1, Dst: 172.16.56.2
> Transmission Control Protocol, Src Port: 443, Dst Port: 47006, Seq: 1, Ack: 176, L
```

```
0000  00 13 3b 10 9f 31 00 13  3b 4b 1f be 08 00 45 00
0010  00 34 a6 44 40 00 40 06  cc 5b ac 10 38 01 ac 10
0020  38 02 01 bb b7 9e 76 2c  63 92 43 1d bd 68 80 10
0030  01 fc eb aa 00 00 01 01  08 0a 1b b5 43 56 88 44
0040  46 04
```

```
> Frame 5: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits)
v Ethernet II, Src: SpeedDragonM_4b:1f:be (00:13:3b:4b:1f:be), Dst: SpeedDragonM_10:
  > Destination: SpeedDragonM_10:9f:31 (00:13:3b:10:9f:31)
  > Source: SpeedDragonM_4b:1f:be (00:13:3b:4b:1f:be)
    Type: IPv4 (0x0800)
    [Stream index: 0]
> Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.56.1, Dst: 172.16.56.2
> Transmission Control Protocol, Src Port: 443, Dst Port: 47006, Seq: 1, Ack: 176, L
```

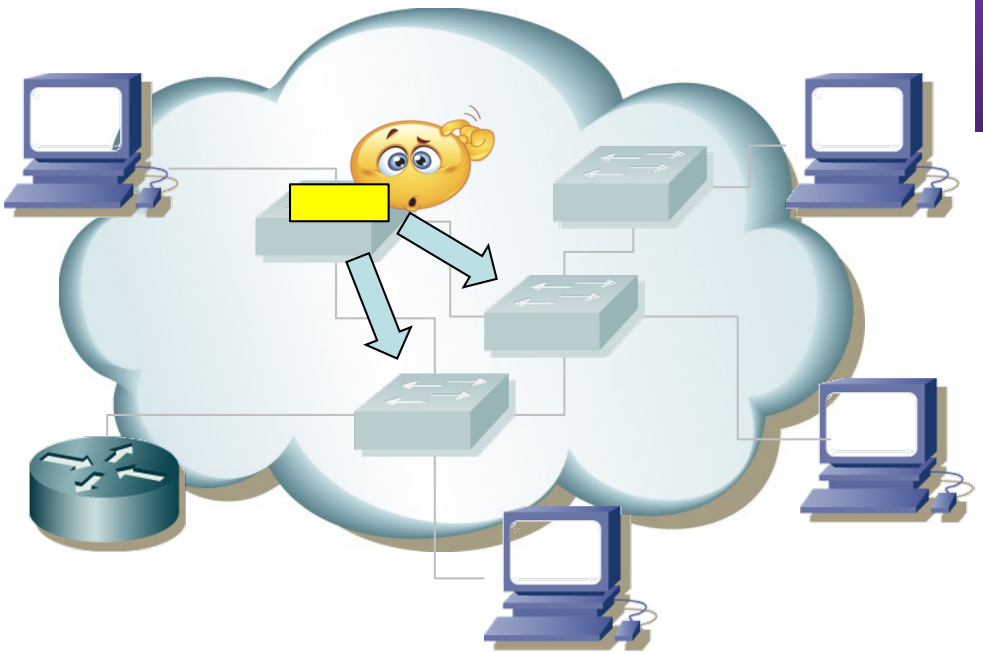
```
0000  00 13 3b 10 9f 31 00 13  3b 4b 1f be 08 00 45 00
0010  00 34 a6 44 40 00 40 06  cc 5b ac 10 38 01 ac 10
0020  38 02 01 bb b7 9e 76 2c  63 92 43 1d bd 68 80 10
0030  01 fc eb aa 00 00 01 01  08 0a 1b b5 43 56 88 44
0040  46 04
```

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Control de acceso al medio

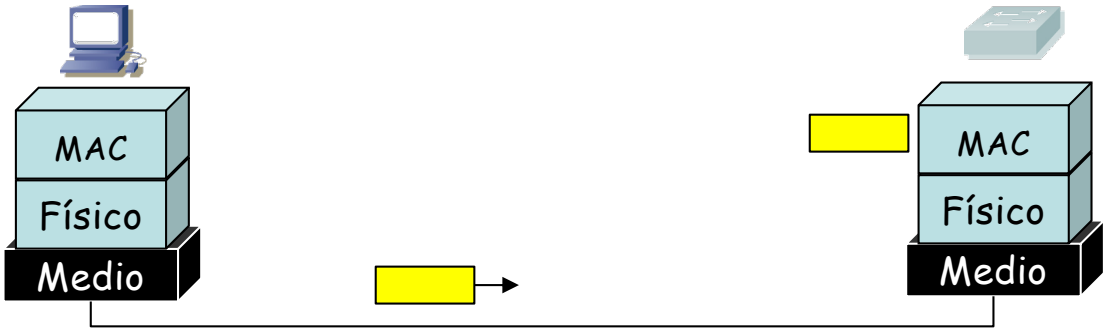
El problema

- ¿Puede transmitir la trama cuando quiera?



MAC

- ¿Cuándo se puede enviar una trama? (“Access Control”)
- En enlace Ethernet no permite enviar más de una trama a la vez
- Deben ir una tras otra con una separación mínima (IFG = Inter Frame Gap)
- Hoy en día la mayoría de los enlaces Ethernet soportan full-dúplex
- Eso quiere decir que sí puede haber tramas simultáneamente, si son en distinto sentido del enlace
- Un enlace puede también funcionar en modo half-dúplex
- En ese caso el problema es de coordinación entre los dos extremos para no enviar a la vez
- Veremos este problema más adelante en la asignatura
- Va a depender de cuánto tiempo nos lleve transmitir una trama y que llegue al otro extremo, lo cual también estudiaremos



MAC

- Half-dúplex es el funcionamiento de la Ethernet tradicional (veremos por qué)
- Pero hoy en día lo normal es que todos los enlaces sean full-duplex
- ¿Ha perdido relevancia el problema del acceso al medio al desaparecer el half-duplex?

- WiFi es half duplex