

# ¿Ethernet es capa 2?

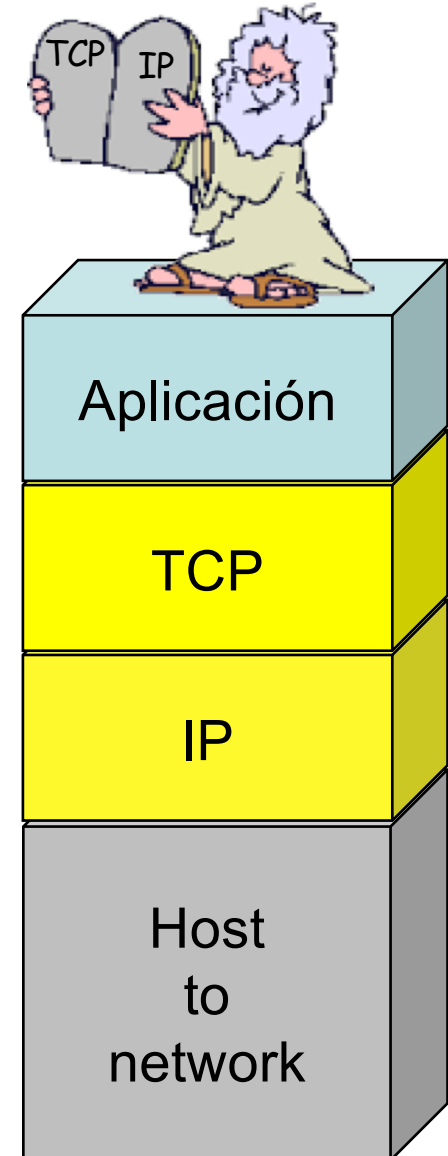
Area de Ingeniería Telemática  
<http://www.tlm.unavarra.es>

Máster en Ingeniería de Telecomunicación

# Arquitecturas de capas de protocolos

# TCP/IP

- Hay otras arquitecturas de protocolos
- La arquitectura OSI
- IBM con SNA tenía la suya (que inspiró OSI)
- También Apple
- Novell
- Digital
- (...)



# Familias de protocolos

## Protocol Family Encapsulations

WildPackets

### Layer 7 Application

Provides standard services to applications and end-user interfaces.

### Layer 6 Presentation

Performs data format conversion. Provides compression, encoding, and encryption of data.

### Layer 5 Session

Establishes sessions between services. Synchronizes and performs translations for naming services

### Layer 4 Transport

Manages connections and provides reliable packet delivery. Operates in units of messages.

### Layer 3 Network

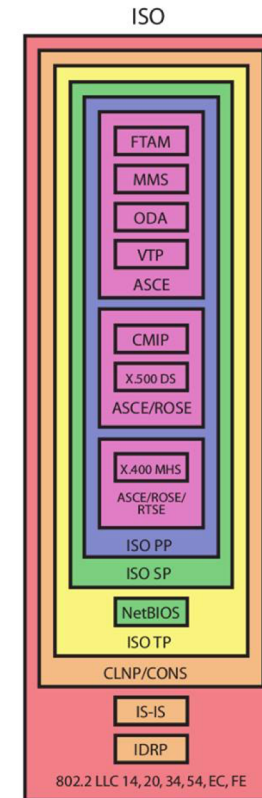
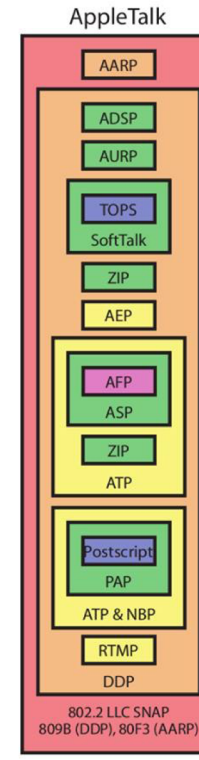
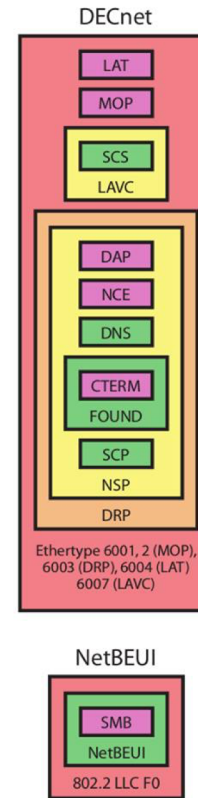
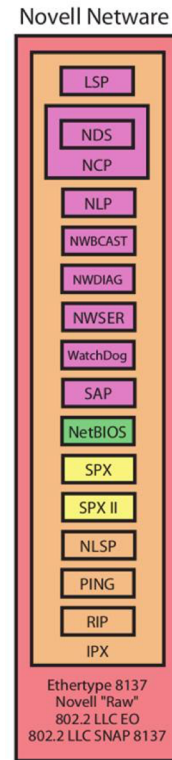
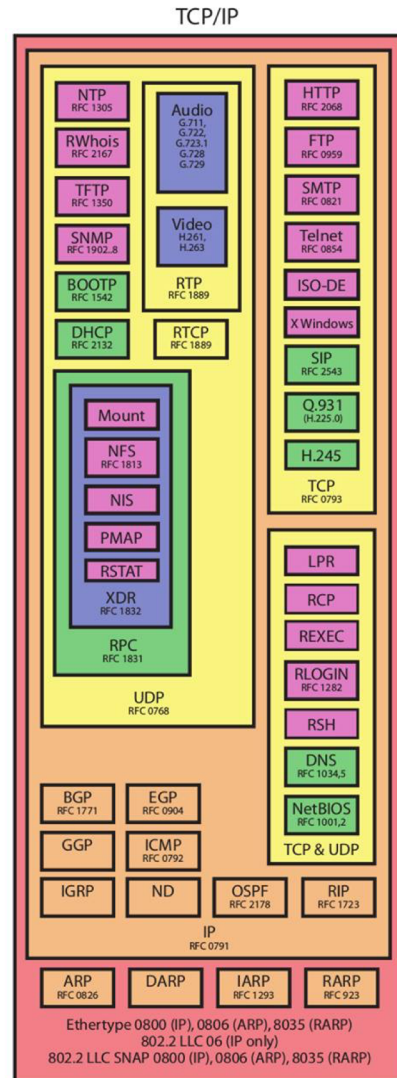
Addresses and routes datagrams. Performs fragmentation and reassembly (IP). Operates in units of packets.

### Layer 2 Logical Link

Provides hardware addressing and error detection/correction. Operates in units of frames.

### Layer 1 Physical

Defines connection, electrical, and wiring specifications. Operates in units of bits.

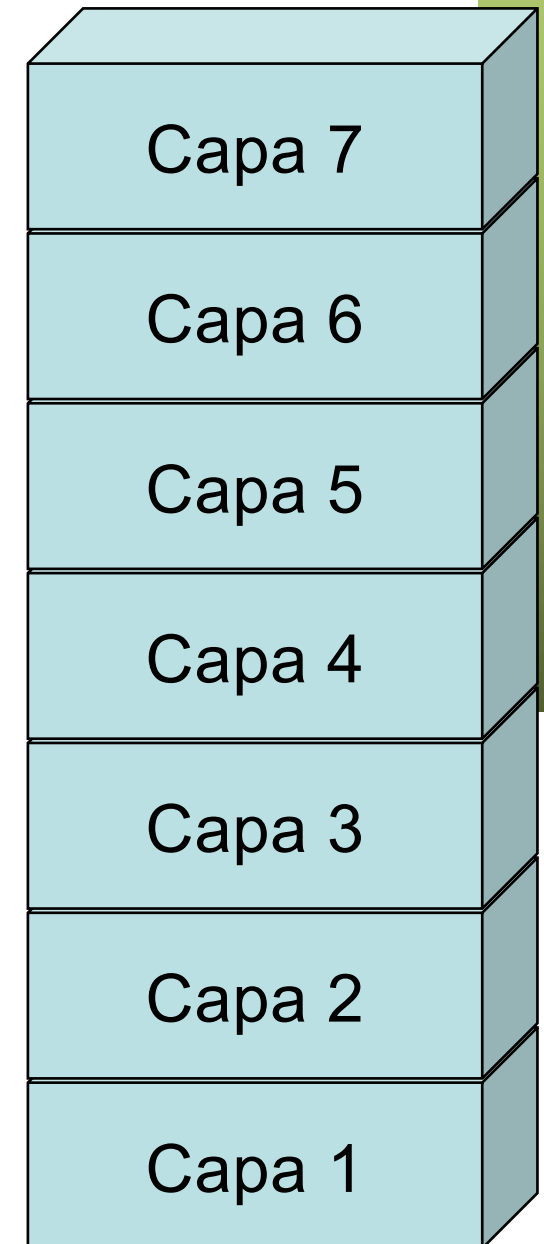


- |       |  |         |   |         |  |          |                                       |
|-------|--|---------|---|---------|--|----------|---------------------------------------|
| AARP  | AppleTalk Address Resolution Protocol  | IARP    | Inverse Address Resolution Protocol                                       | NLP     | NetWare Lite Protocol                  | RTSE     | Reliable Transfer Service Element     |
| ADSP  | AppleTalk Data Stream Protocol         | ICMP    | Internet Control Message Protocol   | NLSP    | NetWare Link State Protocol            | RWhois   | Remote Whois                          |
| AEP   | AppleTalk Echo Protocol                | IDRP    | Interior Gateway Routing Protocol   | NTP     | Network Time Protocol                  | SAP      | Service Advertisement Protocol        |
| AFP   | AppleTalk Filing Protocol              | IGMP    | Interior Gateway Routing Protocol   | NWBCAST | NetWare Broadcast Message Notification | SPB      | Session Initialization Protocol       |
| ARP   | Address Resolution Protocol            | IP      | Internet Protocol   | NWDIAG  | NetWare Diagnostic Support Protocol    | SMB      | Server Message Block                  |
| ASCE  | Association Control Service Element    | IPX     | Internet Packet Exchange  | NWSER   | NetWare Serialization Protocol         | SMTP     | Simple Mail Transfer Protocol         |
| ASP   | AppleTalk Session Protocol             | IS-IS   | Intermediate Systems to Intermediate System Routing Presentation Protocol | ODA     | Office Document Architecture           | SNMP     | Simple Network Management Protocol    |
| ATP   | AppleTalk Transaction Protocol         | ISOP    | Session Protocol  | PAP     | Printer Access Protocol                | SPX      | Sequenced Packet Exchange             |
| AURP  | AppleTalk Update Routing Protocol      | ISO SP  | Session Protocol  | PING    | Packet Internet Groper                 | TCP      | Transmission Control Protocol         |
| BGP   | Border Gateway Protocol                | ISO TP  | Transport Protocol  | PMAP    | Port Mapper                            | Telnet   | Telecommunications Network Protocol   |
| BOOTP | Bootstrap Protocol                     | ISO-DE  | Development Environment   | RARP    | Reverse Address Resolution Protocol    | TFTP     | Trivial File Transfer Protocol        |
| CLNP  | Connectionless Network Protocol        | LPR     | Remote Print  | RARP    | Reverse Address Resolution Protocol    | TOPS     | Transcendental Operating System       |
| CMP   | Common Management Information Protocol | LSP     | NetWare Lite Sideband Protocol  | RCP     | Remote Copy                            | UDP      | User Datagram Protocol                |
| CONS  | Connection Oriented Network Protocol   | MMS     | Manufacturing Message Service   | REXEC   | Remote Execution                       | VTP      | Virtual Terminal Protocol             |
| DARP  | Dynamic Address Resolution Protocol    | MOUNT   | Mount Server  | RTMP    | Routing Table Maintenance Protocol     | WatchDog | Station Keep Alive                    |
| DDP   | Datagram Delivery Protocol             | NBP     | Name Binding Protocol   | RSTAT   | Remote Statistics                      | XWindows | Graphical Windows                     |
| DHCP  | Dynamic Host Configuration Protocol    | NCP     | NetWare Core Protocol   | ROSE    | Remote Operations Service Element      | X400MHS  | Message Handling System               |
| DNS   | Domain Name System                     | ND      | Network Disk  | RFC     | Remote Procedure Call                  | X.500 DS | Directory Services                    |
| EGP   | Exterior Gateway Protocol              | NDS     | NetWare Directory Service   | RSH     | Remote Shell                           | XDR      | Exchange Data Representative Protocol |
| FTAM  | File Transfer Access and Management    | NetBEUI | NetBIOS Enhanced User Interface   | RSTAT   | Remote Statistics                      | ZP       | Zone Information Protocol             |
| FTP   | File Transfer Protocol                 | NetBIOS | NetBIOS Basic Input/Output System   | RTCP    | RTP Control Protocol                   |          |                                       |
| GGP   | Gateway to Gateway Protocol            | NFS     | Network File System   | RTMP    | Routing Table Maintenance Protocol     |          |                                       |
| HTTP  | Hypertext Transfer Protocol            | NIS     | Network Information Services  | RTP     | Real-time Transport Protocol           |          |                                       |

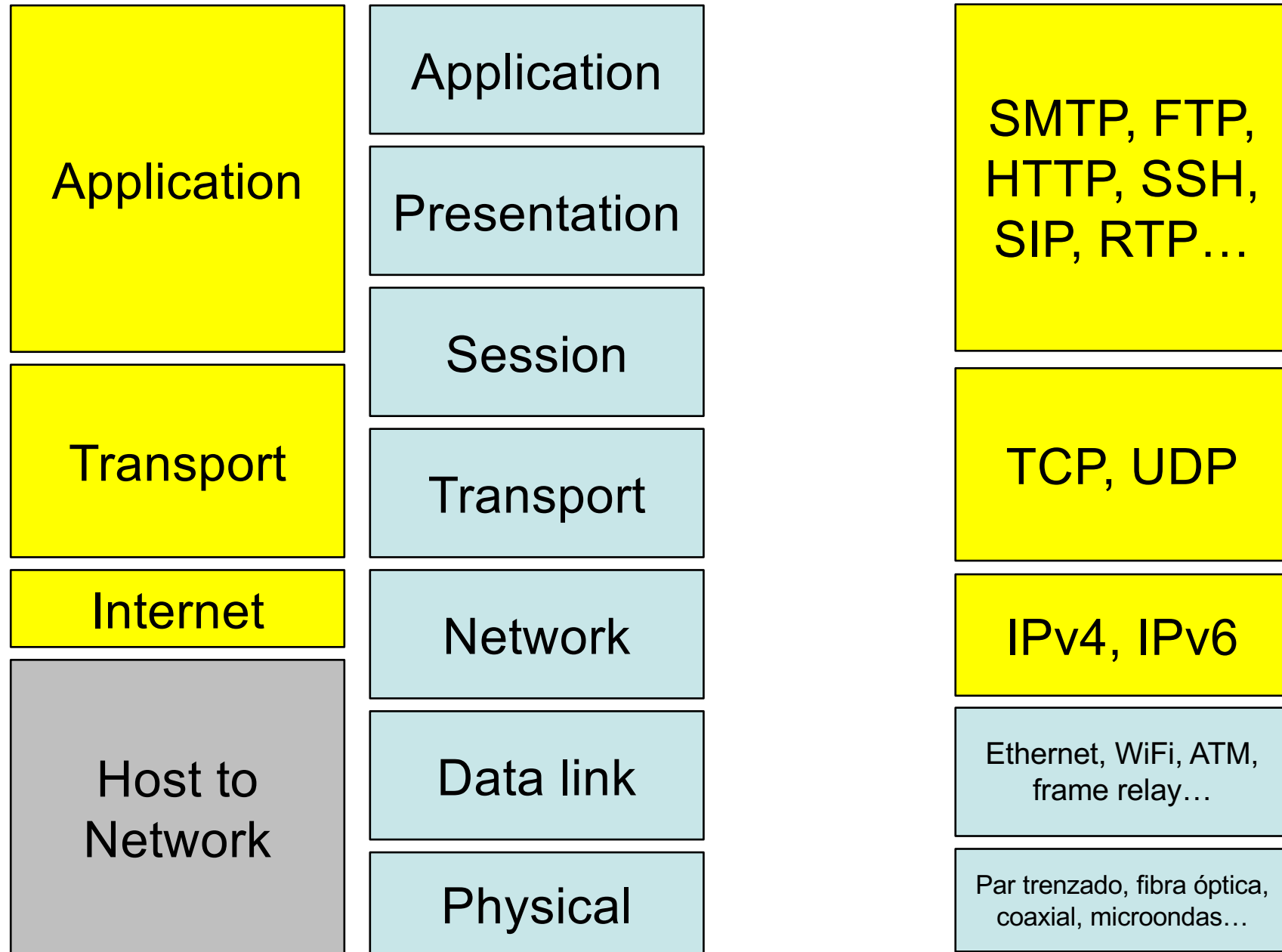


# OSI

- ISO intentó resolver la arquitectura en base a una estructura de capas
- Permite independencia, reutilización, evolución parcial
- Define interfaces y servicios que ofrecen las capas
- Fue demasiado ambiciosa, el resultado era demasiado complejo
- Había otros desarrollos en paralelo
- A día de hoy hablamos de capas 1, 2, 3 y 4, así como de capa 7
- Las capas 5 y 6 se han perdido en la literatura, aunque conceptualmente existan protocolos que se asemejen

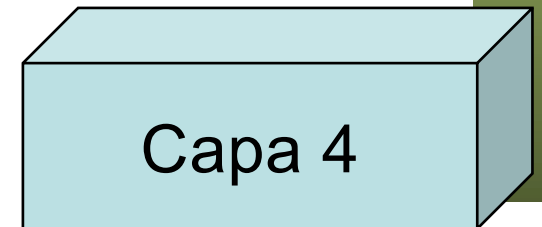


# TCP/IP y OSI: Ejemplos



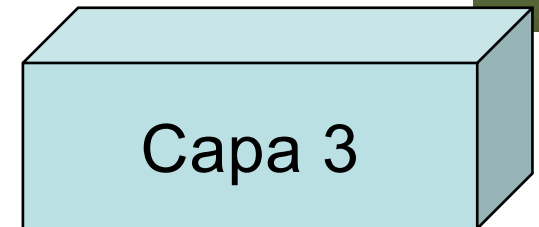
# Layer 4

- OSI Transport layer
  - Ofrece transferencia de datos transparente
  - Fiable
  - Recuperación de errores
  - Control de flujo
  - Todo ello extremo a extremo



# Layer 3

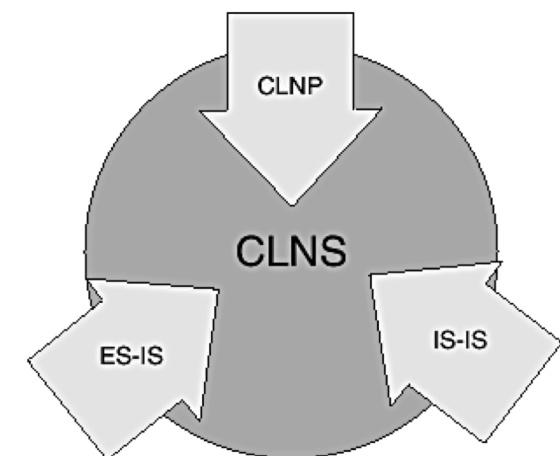
- OSI Network layer
  - Ofrece independencia a las capas superiores de la tecnología de conmutación y transmisión
  - Responsable de establecer, mantener y terminar conexiones



# Layer 3 vs Layer 3

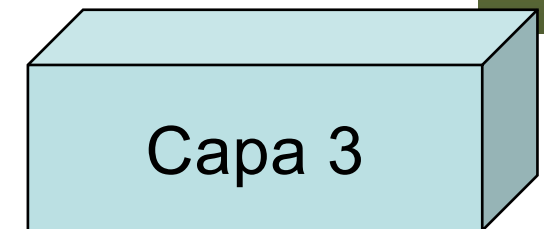
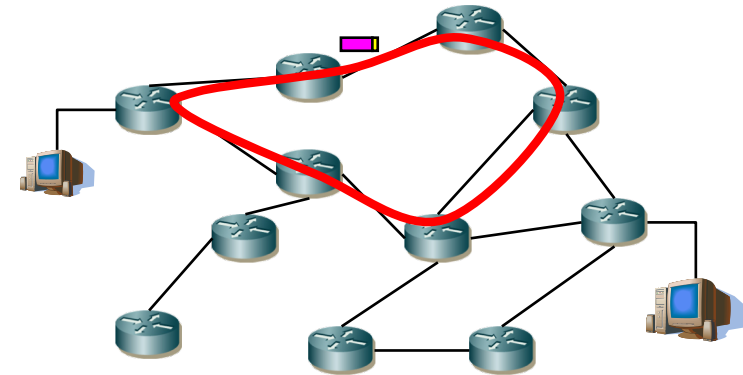


- ¿Sabéis qué es CLNP?
- *ConnectionLess Network Protocol*
- Protocolo de capa 3 de la pila OSI orientado a datagramas
- O sea, como IP pero en la familia OSI
- ¿Sabéis de qué tamaño son sus direcciones?
- 20 bytes (longitud variable)
- Las de IPv4 son de 4 bytes, las de IPv6 son de 16 bytes
- ¿Y qué tiene de malo?
- En su día (en los 90s) de hecho era mejor que IPv6 (mejores mecanismos de autoconfiguración, IS-IS, etc)
- ¿Por qué no se cambió a IPv6 entonces?
- ¿Y para qué se iba a cambiar?



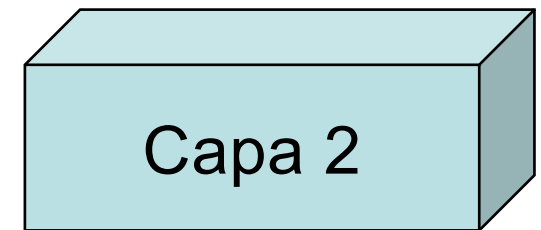
# Layer 3: PDU básica

- Una dirección origen y destino
- Los datos
- Y también una cuenta de saltos
  - Algo que limite el número de saltos que dé el paquete, ¿por qué?
  - Con un algoritmo distribuido que calcula las rutas puede haber transitorios
  - Durante los cuales hay bucles
  - Y quieres que los paquetes atrapados en uno se descarten pronto



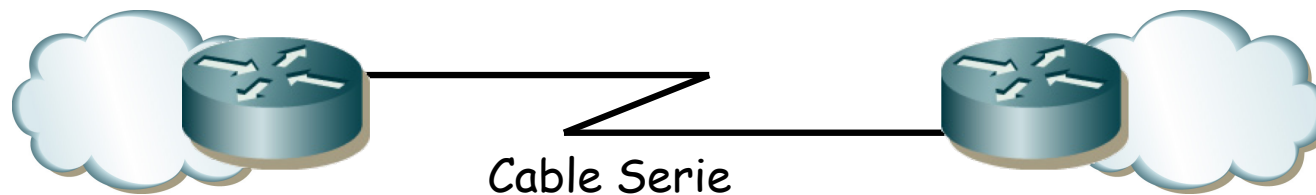
# Layer 2

- OSI Data Link layer
  - Ofrece transferencia fiable a través de un enlace físico
  - Envía bloques (tramas)
  - Incluye sincronización, control de errores y control de flujo
- IEEE 802
  - Resuelve el control de acceso al medio (MAC)
  - Funcionalidades de control de conexión, flujo y errores (LLC)
- Veamos dos ejemplos: PPP y Ethernet



# PPP como layer 2

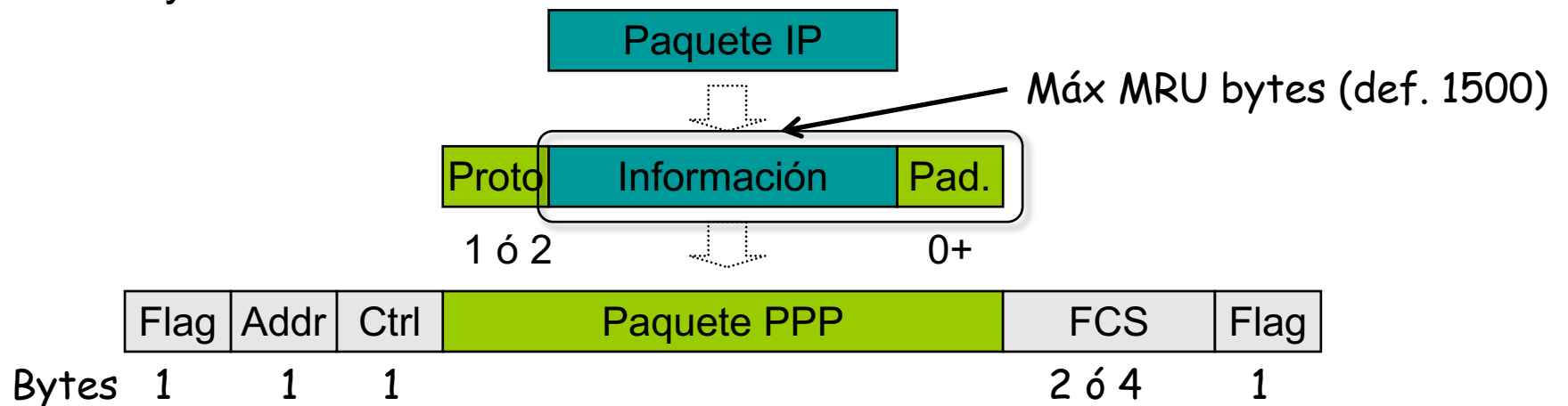
- *Point-to-Point Protocol* (RFC 1661)
- Para enlaces simples entre dos extremos
- Los enlaces deben ofrecer full-duplex y entrega en orden
- PPP ofrece:
  - Framing
  - Multiplexación de varios protocolos
  - Protocolo de control del enlace (LCP) para establecer, configurar y comprobar el enlace de datos
  - Protocolos de control específicos para cada protocolo de red (NCP)





# PPP: encapsulado

- Marca el comienzo y final de cada trama porque tal vez el nivel físico no sea capaz
- Por defecto encapsulado HDLC (RFC 1662)
  - Flag (0x7e)
  - Address (solo 0xff = All-Stations)
  - Control (solo 0x03 = Unnumbered Information con bit Poll/Final a cero)
  - FCS (calculado desde el campo Address)
- Byte Stuffing
  - Carácter de escape = 0x7d
  - En la secuencia entre los Flags se escapan todos los caracteres 0x7d y 0x7e



# Ethernet “original”

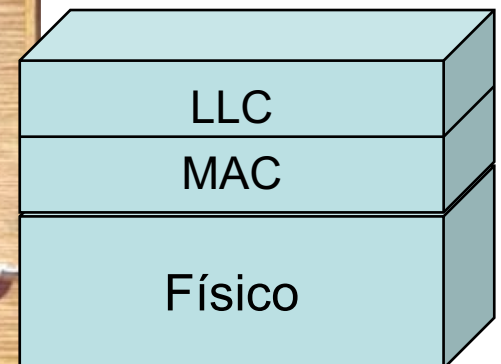
- Bus coaxial
- No hay conmutadores
- CSMA/CD (basado en ALOHA) (...)



Bob Metcalfe (siglo XXI)

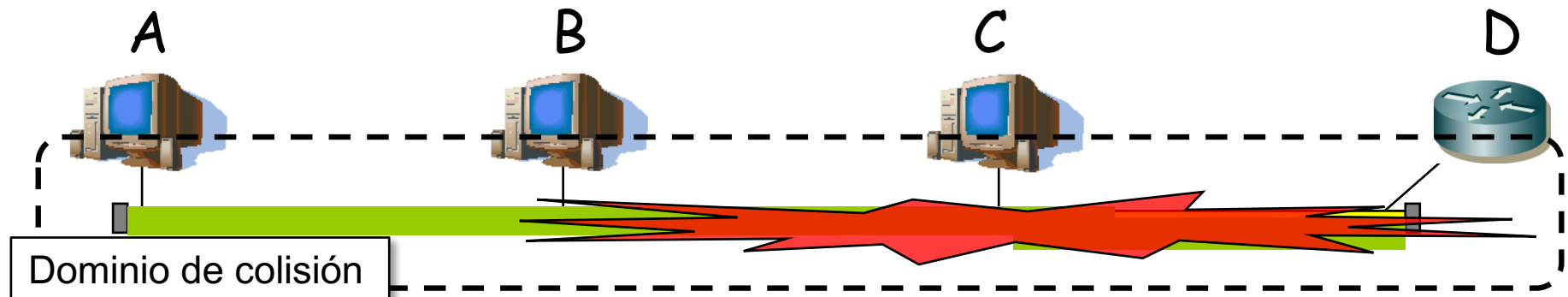
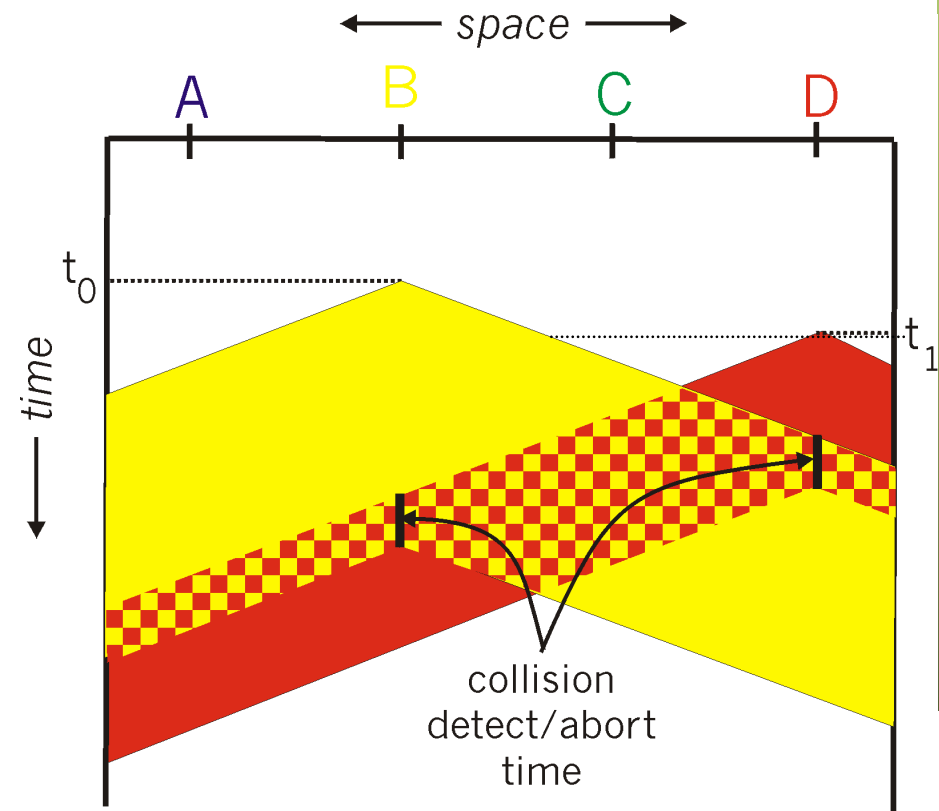


Bob Metcalfe (1973)



# CSMA/CD

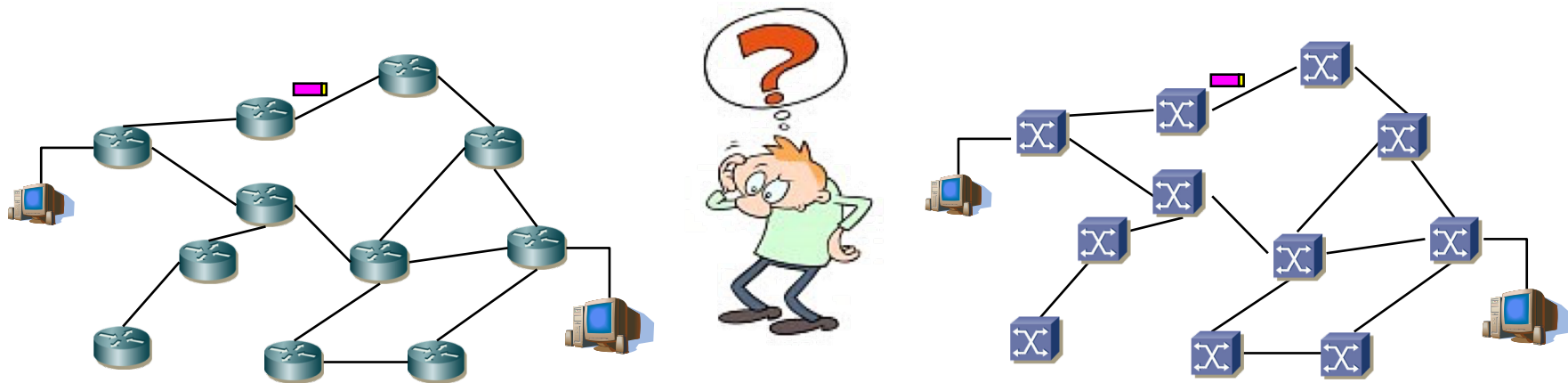
- *Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*
- Canal inactivo: transmitir la trama
- C. ocupado: retrasar la transmisión
- Debido al retardo puede que un nodo no note que otro está transmitiendo
- Detecta si se produce una colisión mientras transmite
- Si hay colisión reintenta tras un tiempo aleatorio (*backoff*)



# Ethernet hoy en día

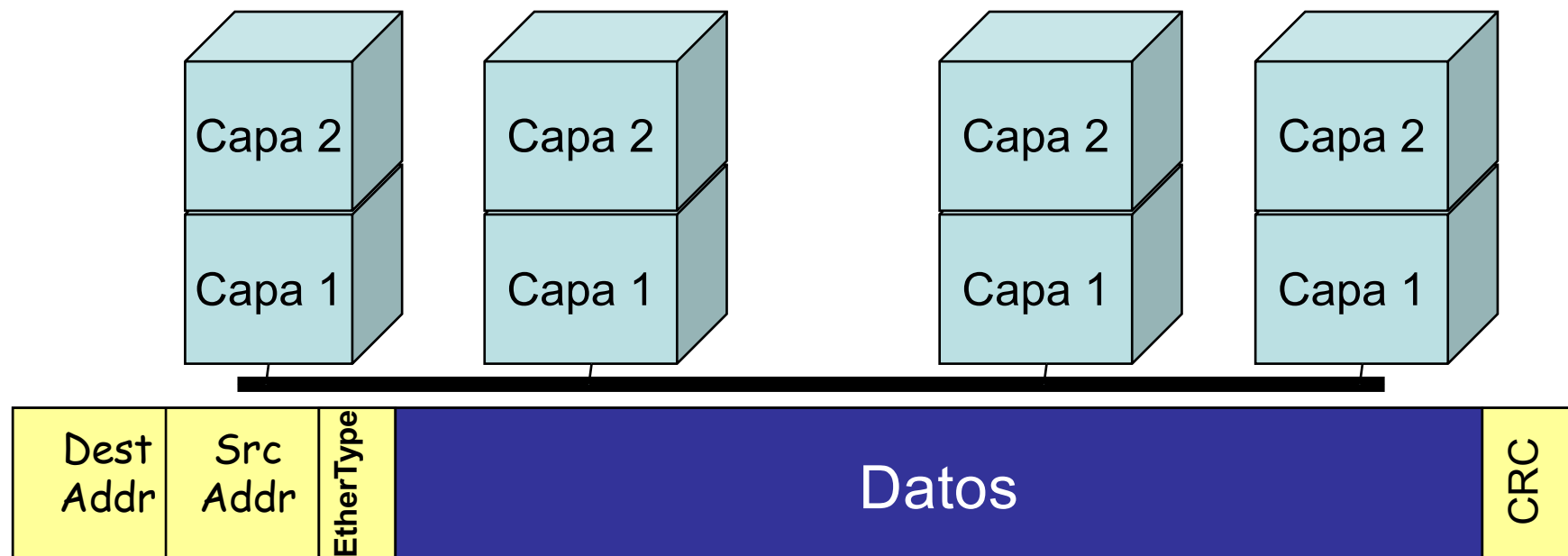
# Ethernet hoy en día

- Decimos que es una solución de capa 2
- Pero hoy en día tenemos conmutadores de paquetes: bridges
- La trama Ethernet se parece mucho a una PDU capa 3
- Aunque no hay un TTL
- ¿Por qué decimos que es capa 2? ¿Cuál es exactamente la diferencia entre la capa 2 y la capa 3?



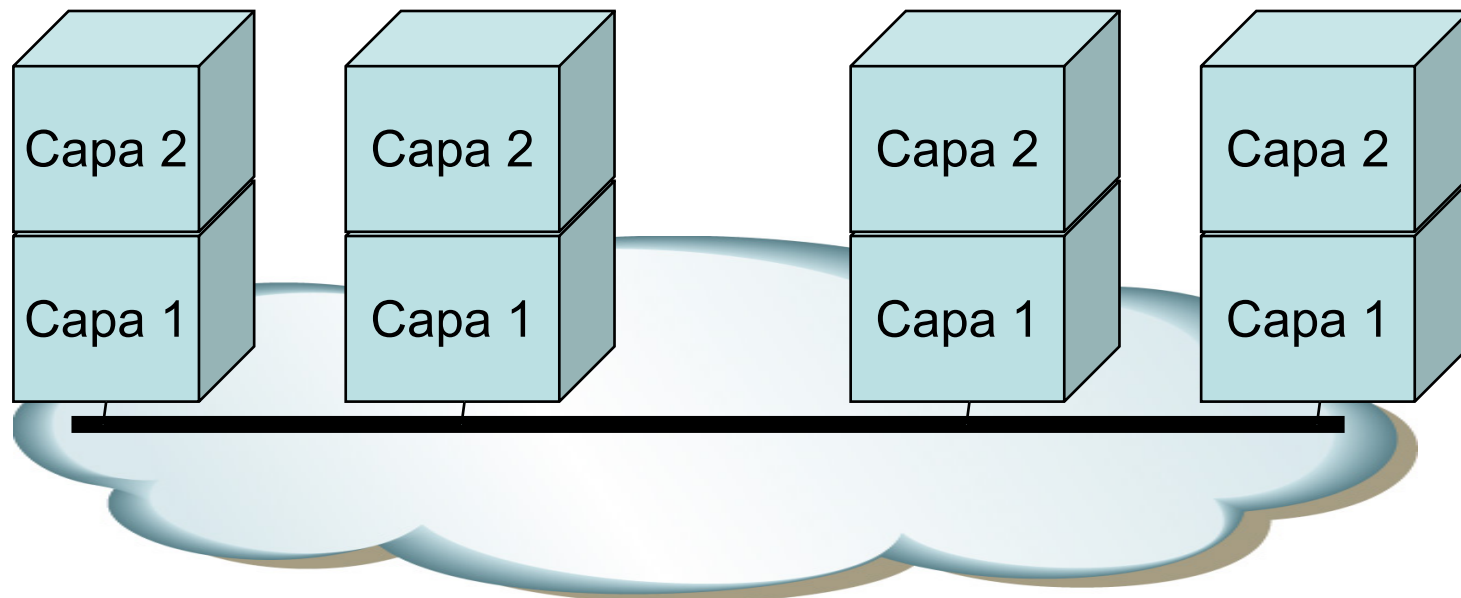
# Ethernet

- Ethernet es para comunicar estaciones en el mismo enlace
- No se les ocurrió que alguien pudiera querer reenviar estos paquetes
- Necesita direcciones porque el medio es compartido con varias posibles estaciones
- No necesita TTL porque no hay posibilidad de bucles



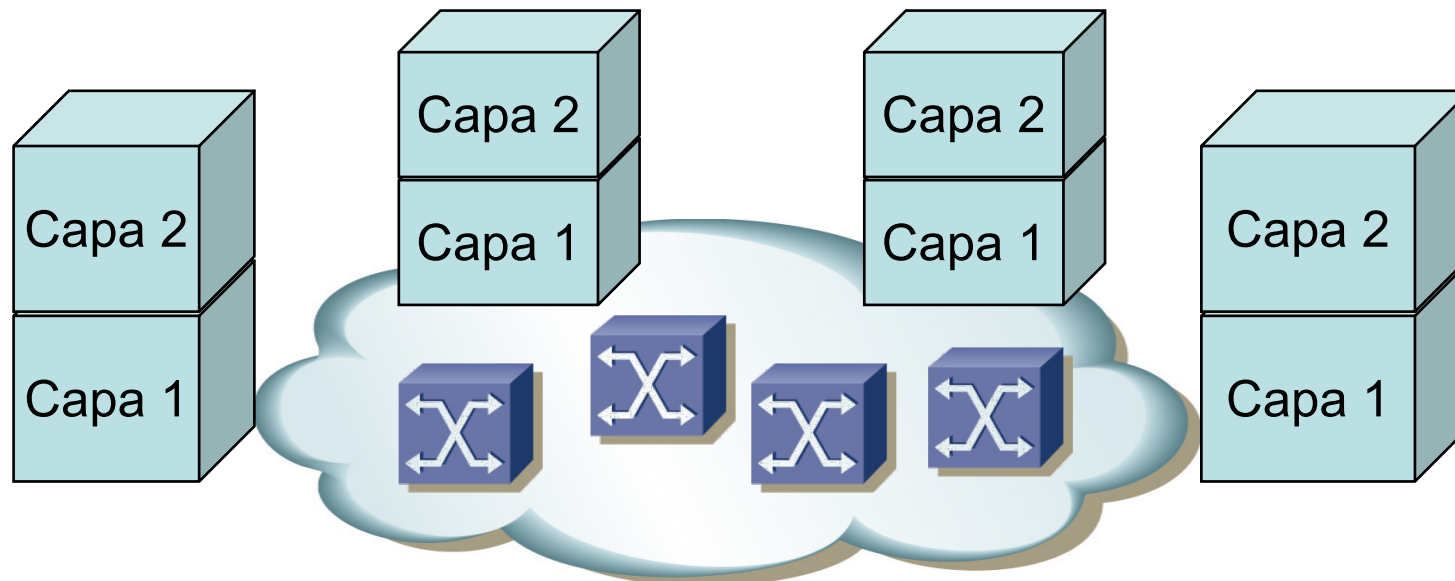
# Ethernet es capa 2

- Pero la Ethernet original no era para un enlace, había una “Red de Área Local”, ¿no?
- Claro, el nivel de enlace resuelve el problema de estaciones que tienen un medio físico entre ellas (recordad el bus coaxial)
- La red de área local es ese segmento de coaxial o esos hubs



# Ethernet es capa 2

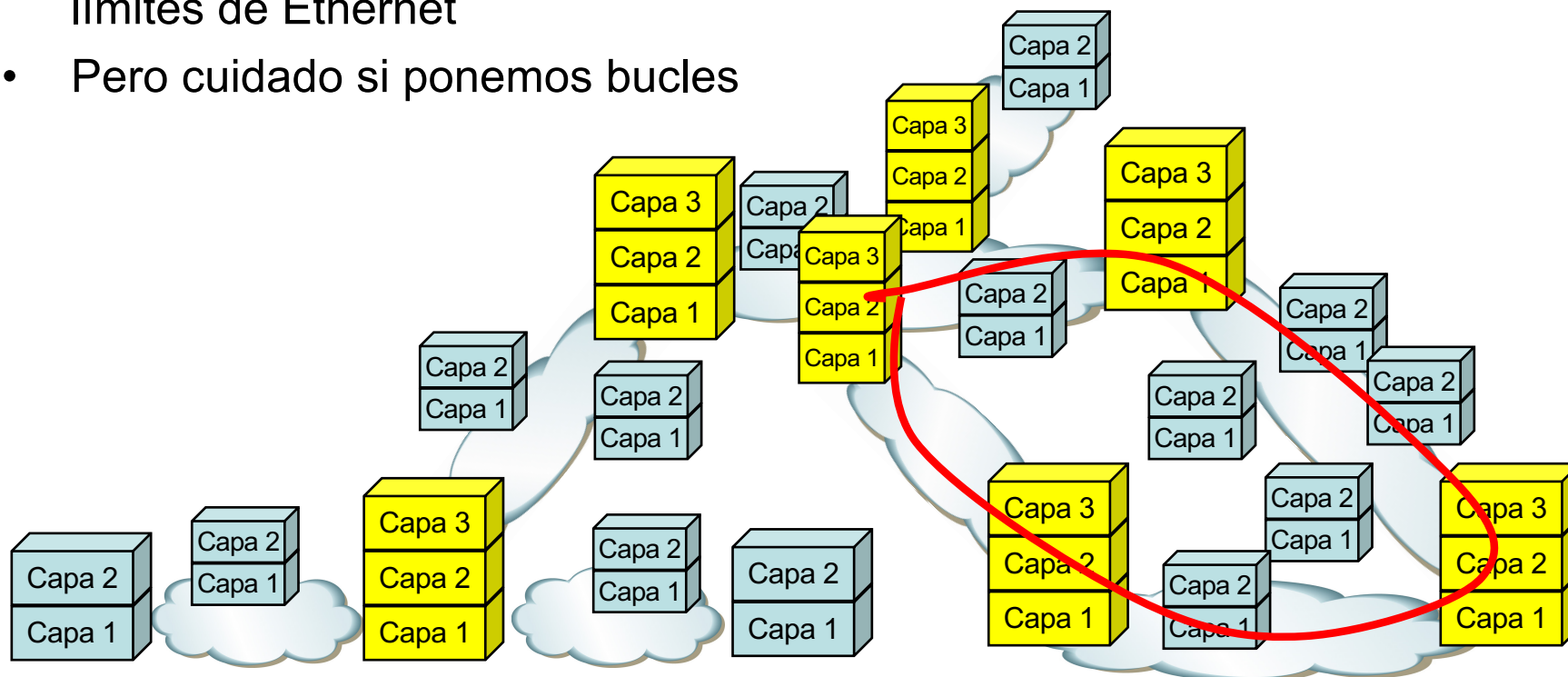
- ¡ Pero esa red tiene conmutadores ! ¡ Haciendo almacenamiento y reenvío ! ¡ No me lées !
- ¿LAN Ethernet con conmutadores?
- Eso tiene de Ethernet 2 cosas:
  - El formato de la trama
  - El nombre
- La Ethernet como tal “murió” en los 90s con la introducción de los conmutadores y pronto veremos cómo, pero antes ...





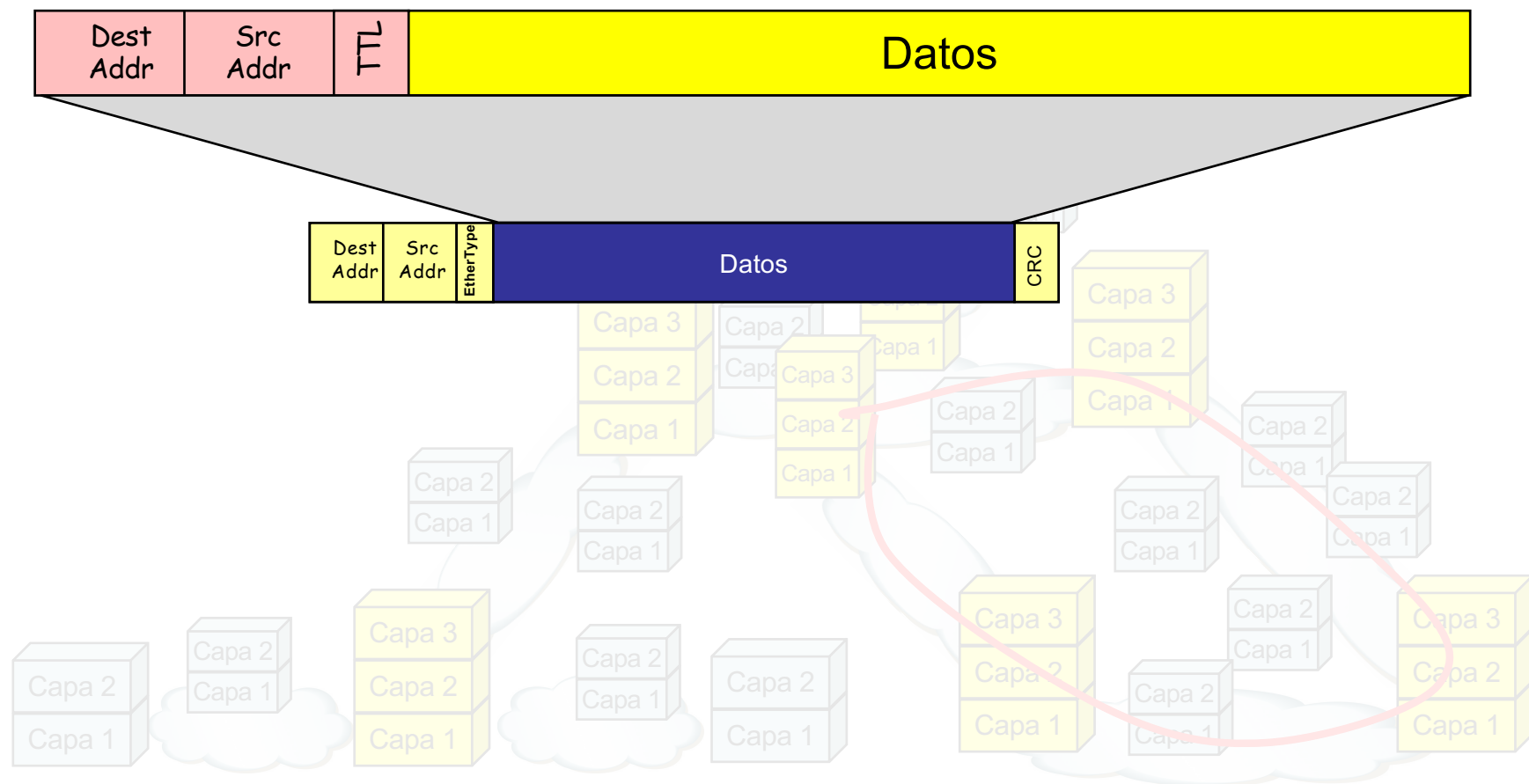
# Ethernet vs Layer 3

- ¿Cómo “podría” ser la interconexión de LANs?
- En cada una de ellas tenemos el dominio de colisión Ethernet
- Es decir, el bus coaxial y posteriormente el/los hubs
- Interconectados por conmutadores capa 3
- Eso permitiría interconectar LANs Ethernet o con otras tecnologías
- Necesitaríamos el formato para el protocolo de capa 3
- Y podríamos hacer más grande la topología pues no tenemos los límites de Ethernet
- Pero cuidado si ponemos bucles



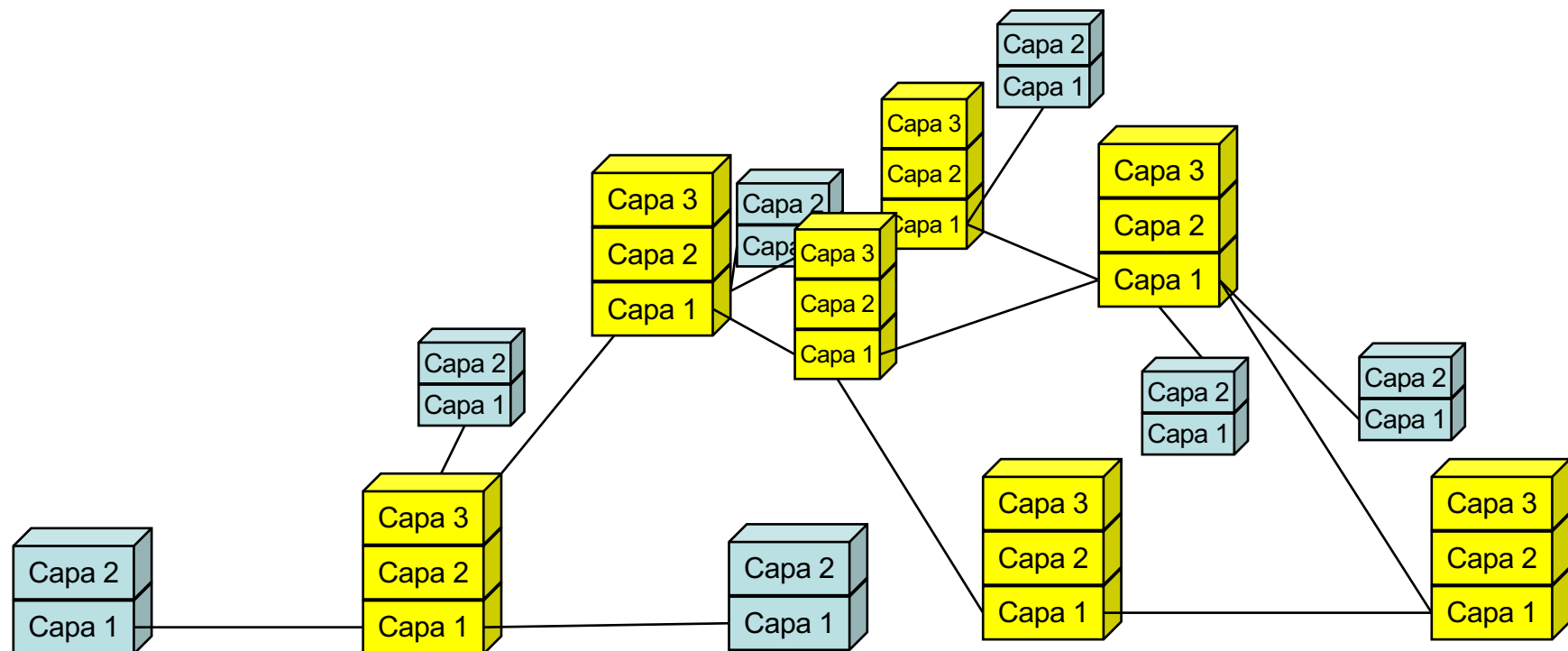
# Ethernet vs Layer 3

- Ok, necesitamos protocolos de encaminamiento dinámico
- Y mejor que le pongamos un TTL a esa PDU de capa 3
- Por supuesto esta PDU de capa 3 va dentro de la PDU de capa 2 en cada enlace
- O sea, en el caso Ethernet dentro de la trama Ethernet



# Ethernet vs Layer 3

- ¿Y es esto lo que tenemos hoy en día en las LANs Ethernet?
- Hemos reducido los dominios compartidos a un enlace con solo una estación
- Además el enlace es full-duplex con lo que no hace falta CSMA/CD
- ¿Los equipos son conmutadores capa 3?

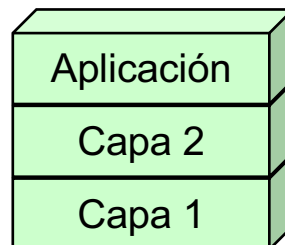




# Una historia de dos puentes

# Ethernet vs Layer 3

- En los 80s-90s Ethernet tenía éxito
- Se quería mejorar su rendimiento
- Aislar los dominios de colisión lo permitiría
- ¿Con un conmutador de capa 3?
- El problema de un protocolo de capa 3 es que lo tienen que implementar los hosts
- No había un protocolo dominante en capa 3 (bueno, tampoco lo había todavía en capa 2 para LAN, pero eso es otro tema)



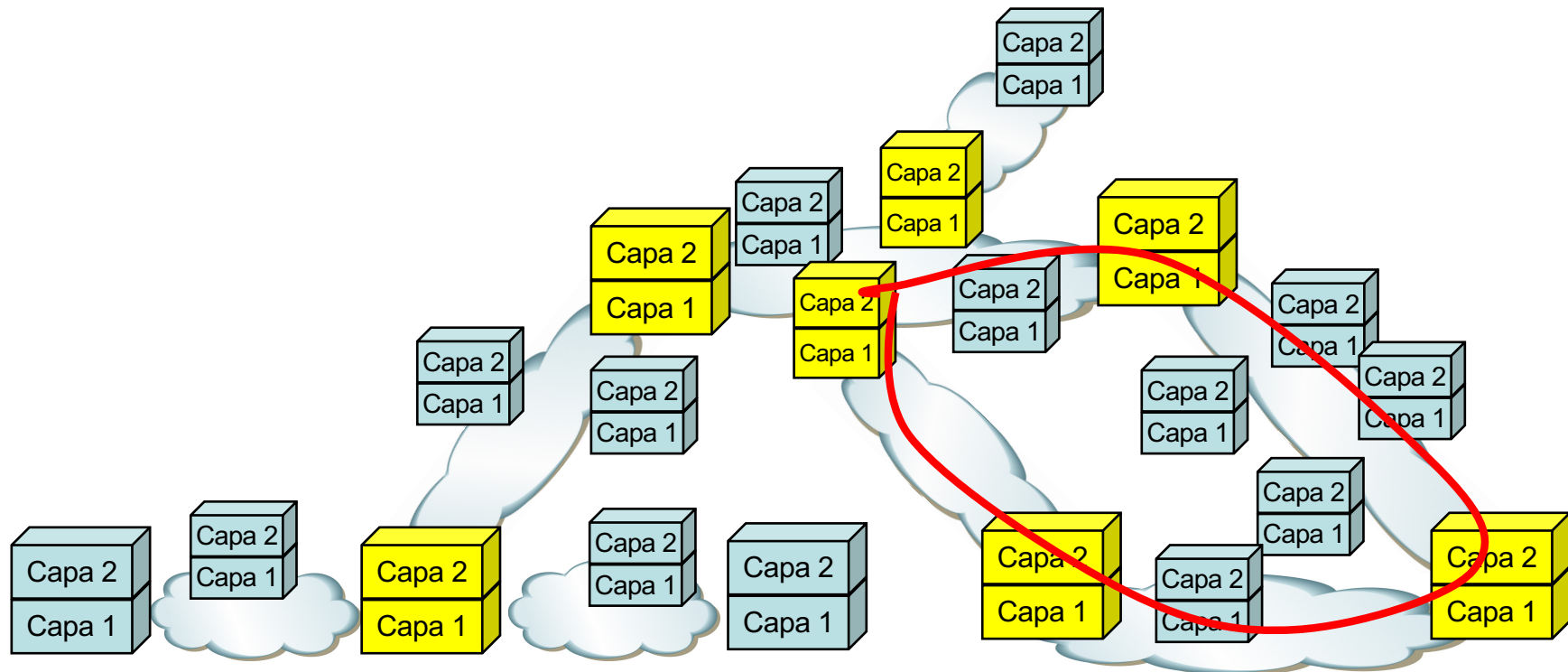
# Ethernet vs Layer 3



- Podéis oír la historia por Radia Perlman:
  - [https://youtu.be/L\\_zacX9DcZA](https://youtu.be/L_zacX9DcZA)
- Trabajaba en la capa 3 (en los 80s en Digital Eq. Corp.)
- Pero entonces parecía que valía con la capa 2 de Ethernet
- Muchas aplicaciones se construían sobre la capa 2
- *“...and I said: but you may wanna talk from one Ethernet to another! And they said: our customers will never wanna do that”*
- *“...my manager says to me: Radia we need to design a magic box that will sit between two Ethernets and let somebody on one talk to somebody on another. Which is of course a router, but a router only works if the end-node is doing the same layer 3 protocol as the router”*
- *“We had to invent a box that was not allowed to modify the Ethernet packet in any way”*
- Y así nació el puente Ethernet (y con él más tarde el conmutador)

# Ethernet vs Layer 3

- ¿Y los bucles?
- Tendríamos problemas con un protocolo de encaminamiento como los de capa 3 pues la trama Ethernet no tiene un TTL
- Así que se diseñó (Radia, en un par de días) un protocolo para eliminar esos ciclos
- (...)





# Ethernet vs Layer 3


- ¿Y los bucles?
- Tendríamos problemas con un protocolo de encaminamiento como los de capa 3 pues la trama Ethernet no tiene un TTL
- Así que se diseñó (Radia, en un par de días) un protocolo para eliminar esos ciclos
- Sí, el “*Spanning Tree Protocol*”
- Radia Perlman firma más de 100 patentes, ha recibido premios como los “Lifetime Achievement award” tanto de Usenix como del ACM SIGCOMM y está en el “Internet Hall of fame” de la ISOC

## Algorhyme


*I think that I shall never see  
A graph more lovely than a tree.  
A tree whose crucial property  
Is loop-free connectivity.  
A tree that must be sure to span  
So packets can reach every LAN.  
First, the root must be selected.  
By ID, it is elected.  
Least-cost paths from root are traced.  
In the tree, these paths are placed.  
A mesh is made by folks like me,  
Then bridges find a spanning tree.*

*Radia Perlman*



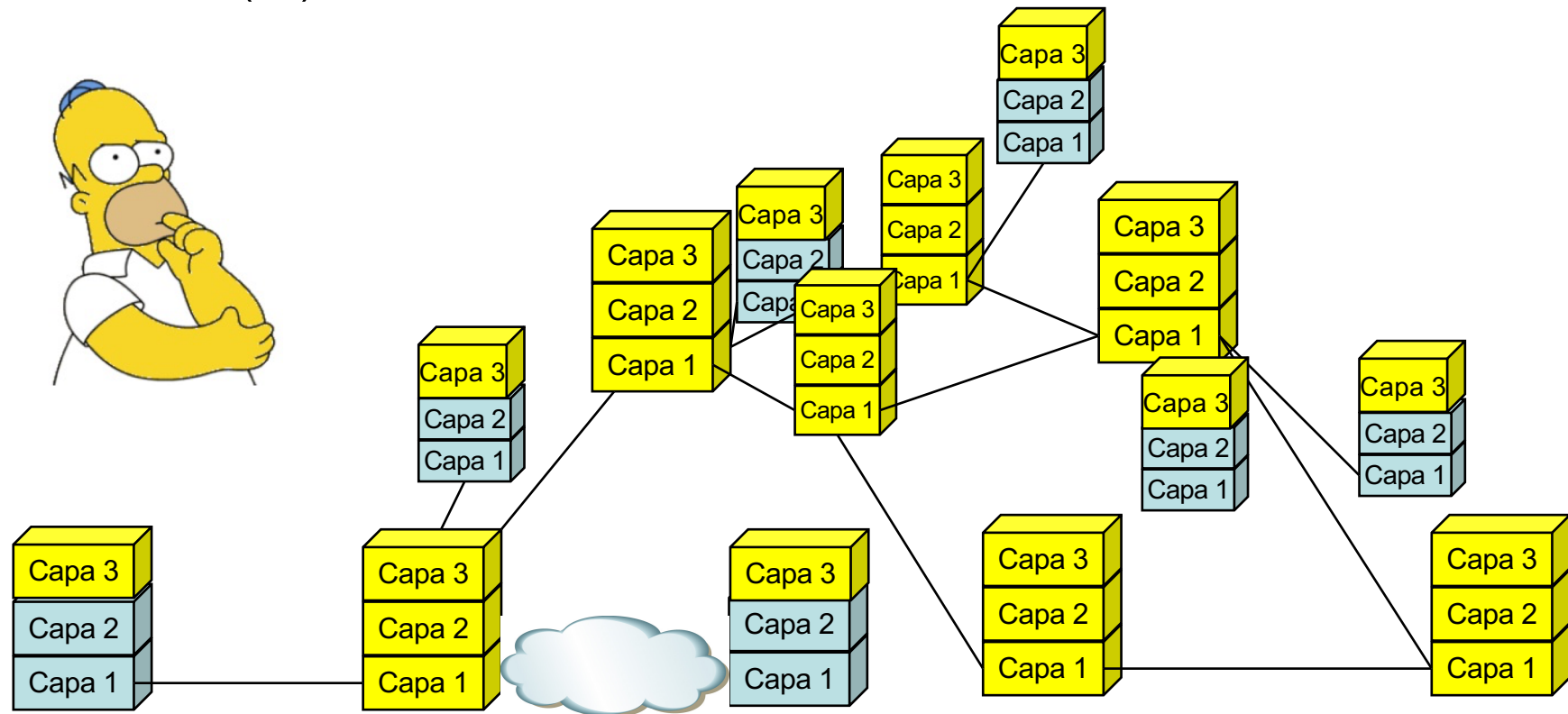


Layer 2 ↔ Layer 3



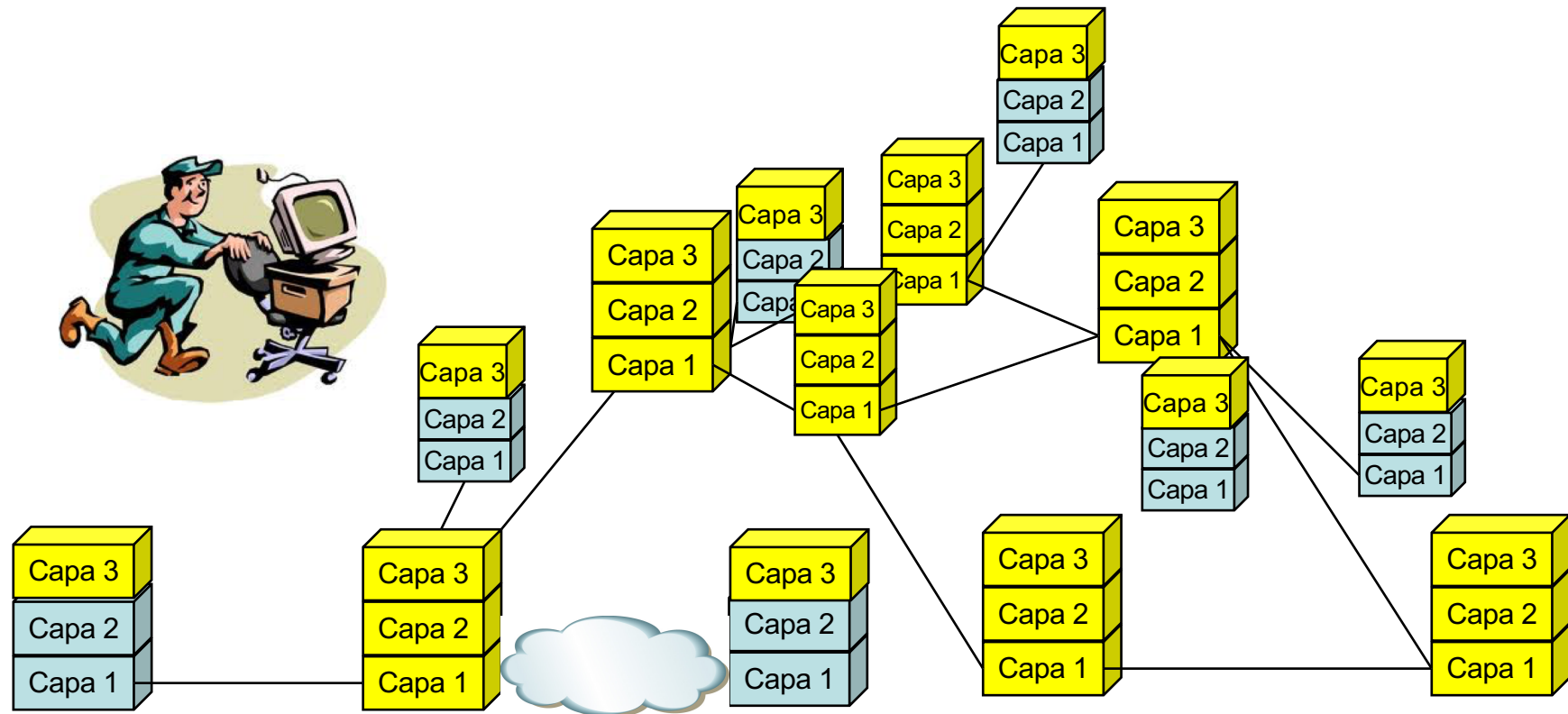
# Layer 2 vs Layer 3

- ¿Quiere decir todo esto que sería mejor tener todos los conmutadores en capa 3?
- Algunos enlaces serían punto-a-punto y otros serían medios compartidos (¿WiFi?)
- Es cierto que ahora sí tenemos un protocolo de capa 3 implementado en todos los hosts (IPv4)
- Mmmm (...)



# Layer 2 vs Layer 3

- Hay ventajas en mantener una LAN
- Por ejemplo, el movimiento de hosts
- Con IPv4 tenemos un problema:
  - Cada enlace es una subred
  - Si un host cambia de enlace debe cambiar su dirección capa 3
  - ¿Por qué? (...)



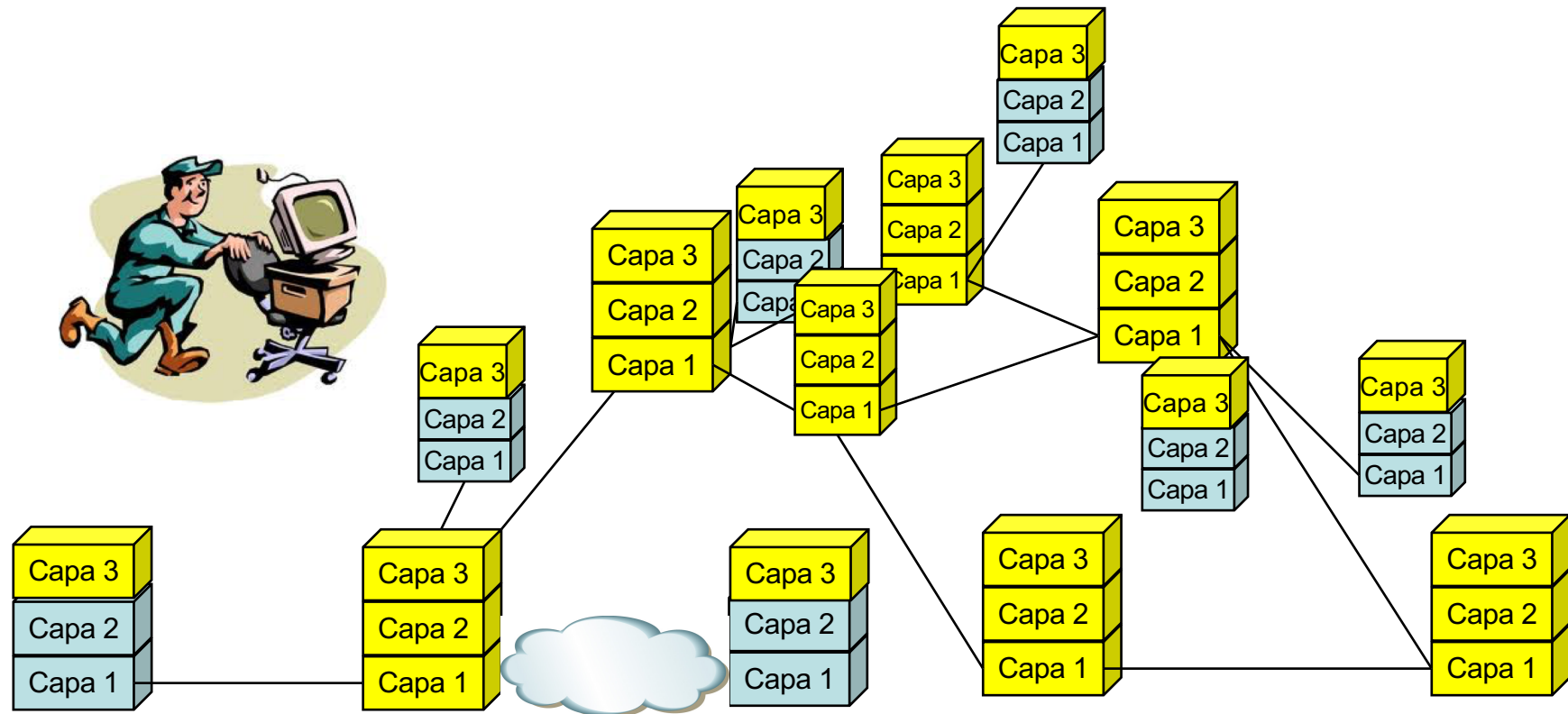
# Names, IDs, Locators

- Existen diferentes tipos de “direcciones” (*addresses*)
- En el sentido de que diferentes protocolos las definen y emplean de distinta forma
- IDs
  - Identifican al nodo
  - No cambian al trasladar al nodo
  - Por ejemplo las direcciones MAC Ethernet, el número de teléfono de un móvil
- Locators
  - Identifican al nodo relativo a dónde se encuentra en la topología
  - Cambian al trasladar al nodo a otra posición en la topología
  - Por ejemplo las direcciones IP, un número de teléfono fijo
- Names
  - Puede no haber unicidad de nodo de red
  - Ejemplo: nombres DNS, nombres CIFS



# Layer 2 vs Layer 3

- Con IPv4 no podemos mover un host y mantener su dirección de capa 3 fácilmente
- ¿Pero queremos mover hosts frecuentemente?
  - Veremos que movemos máquinas virtuales
  - Para que mantengan la dirección IP tienen que seguir en la misma subred IP, es decir en la misma LAN (VLAN)





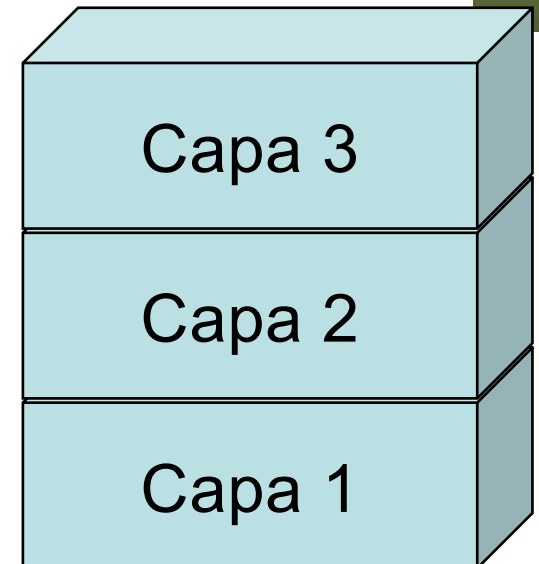
# Es decir

- Ethernet era en un medio compartido, pero ahora tenemos conmutadores con enlaces punto-a-punto a cada host
- Ethernet empleaba CSMA/CD, pero eso ya no hace falta por el full-duplex
- Los conmutadores Ethernet intentan hacer el trabajo de un equipo que conmute en capa 3
- Pero no había un protocolo de capa 3 así que tenía que hacerlo sin él y sin modificar la trama
- Esto llevó al funcionamiento del *learning bridge* que conocemos y al *Spanning Tree Protocol*
- ¿ Ethernet es capa 2 ?



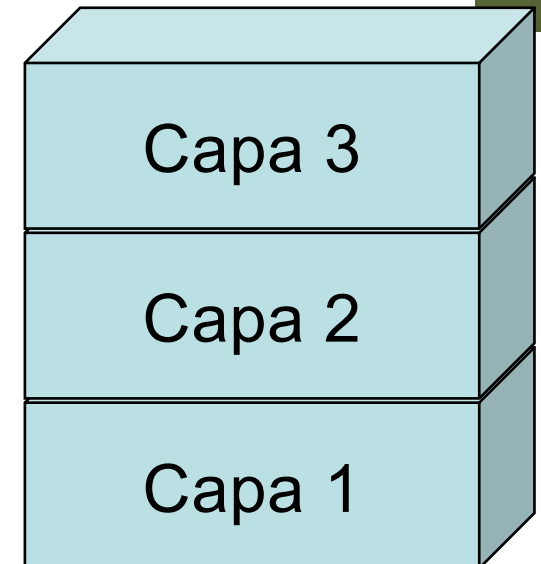
# ¿ Ethernet es capa 2 ?

- Originalmente sí, y seguimos llamándolo así
- ¡ No le digáis a nadie que no lo es !
- Pero que entendáis que lo que hace se sale de lo que sería capa 2 (veremos más adelante los cambios que le hemos hecho en los últimos años)
- ¿ Es capa 2 porque lleva dentro IP que es capa 3 ?
- ¿ Es capa 2 porque por debajo está un nivel físico ?



# ¿ Ethernet es capa 2 ?

- ¿ Es capa 2 porque lleva dentro IP que es capa 3 ?
  - ¿ IP es capa 3 ? No me hagáis hablar...
- ¿ Es capa 2 porque por debajo está un nivel físico ?
  - Podemos transportar Ethernet sobre MPLS
  - MPLS pueden ser simples paquetes IP

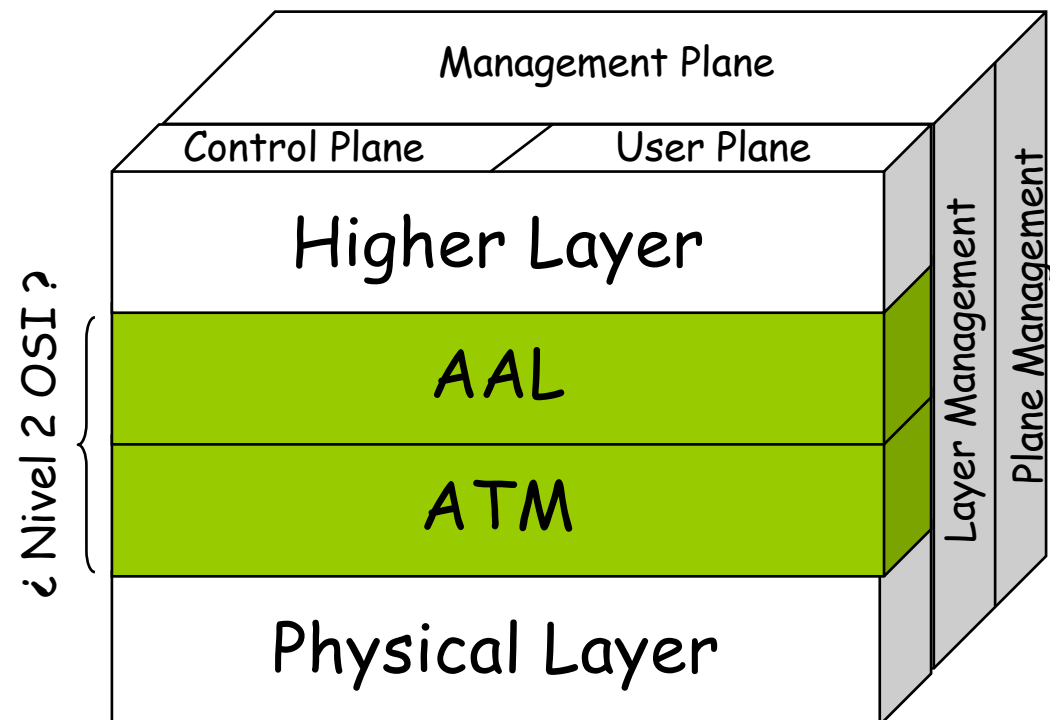


# ¿ Ethernet es capa 2 ?

- Vale, pero no hay más casos...

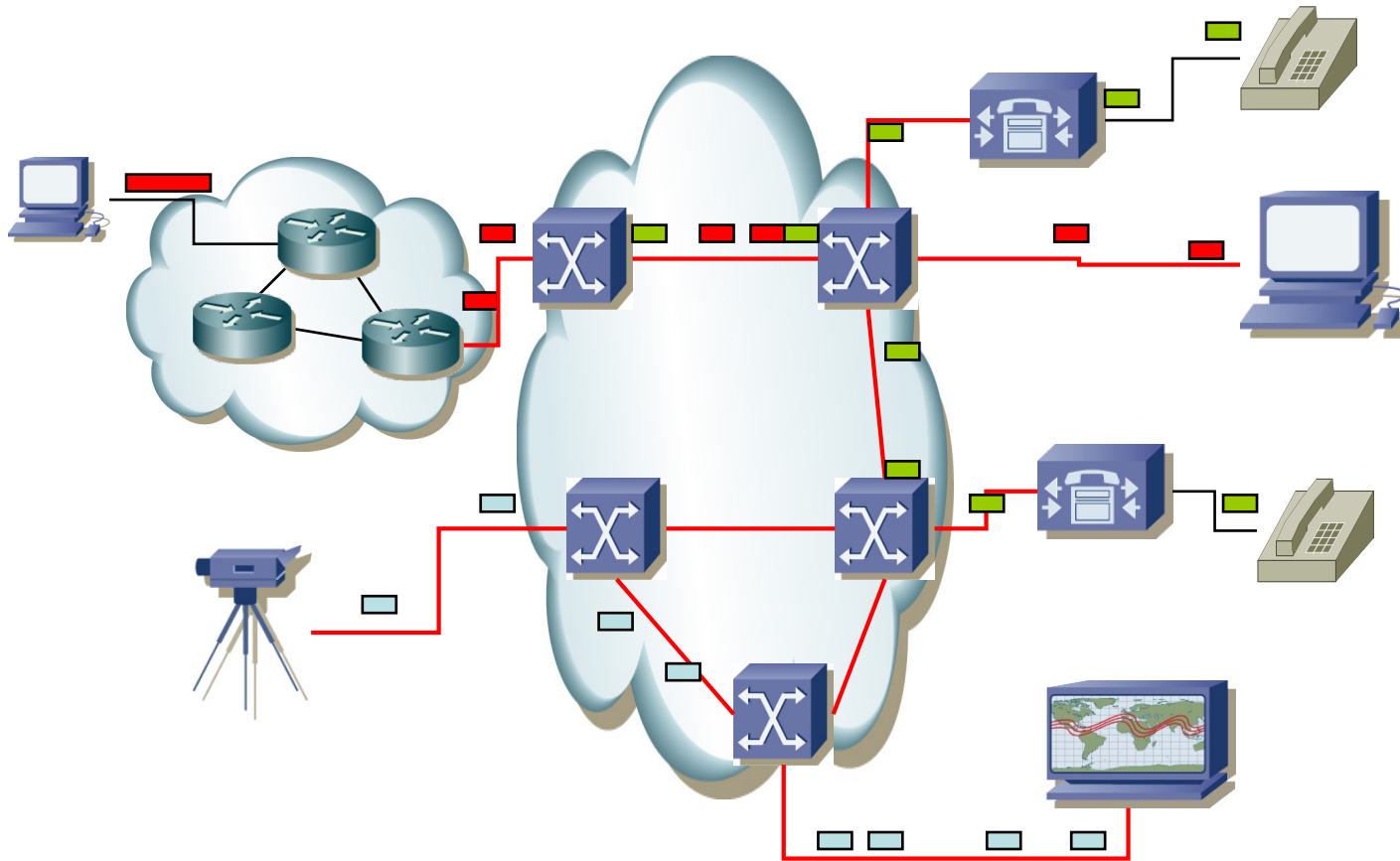
# ¿ ATM de qué capa es ?

- Tiene su propia arquitectura
- Nivel ATM se representa sobre nivel físico así que es capa 2, claro...



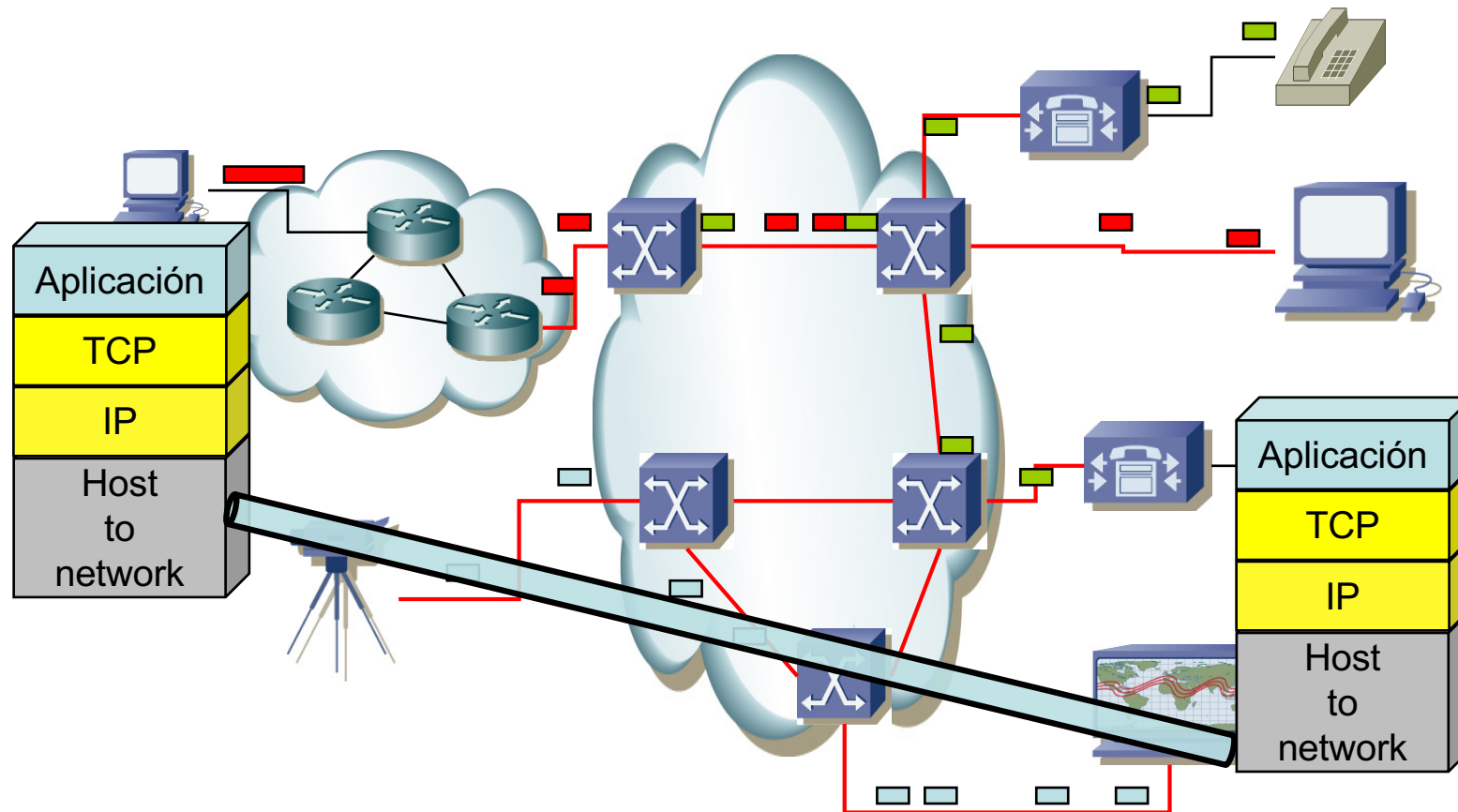
# ¿ ATM de qué capa es ?


- Tenemos conmutación
- Hay circuitos virtuales
- Hay protocolo de encaminamiento dinámico
- Esto parecen funciones de una capa 3



# ¿ ATM de qué capa es ?

- Pero si lo empleamos para establecer circuitos punto a punto
- Y transportar IP sobre ellos
- Para IP parece una capa 2 en un enlace punto a punto
- Da las funciones del nivel de acceso del host a la red





Layer 2 ↔ Layer 3

