



# Módulo 05

## La Capa de Enlace

### (Pt. 4)



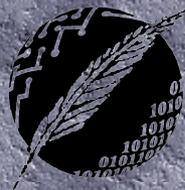
Redes de Computadoras  
Depto. de Cs. e Ing. de la Comp.  
Universidad Nacional del Sur



# Copyright

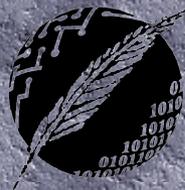
- Copyright © **2010-2024** A. G. Stankevicius
- Se asegura la libertad para copiar, distribuir y modificar este documento de acuerdo a los términos de la **GNU Free Documentation License**, versión 1.2 o cualquiera posterior publicada por la Free Software Foundation, sin secciones invariantes ni textos 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



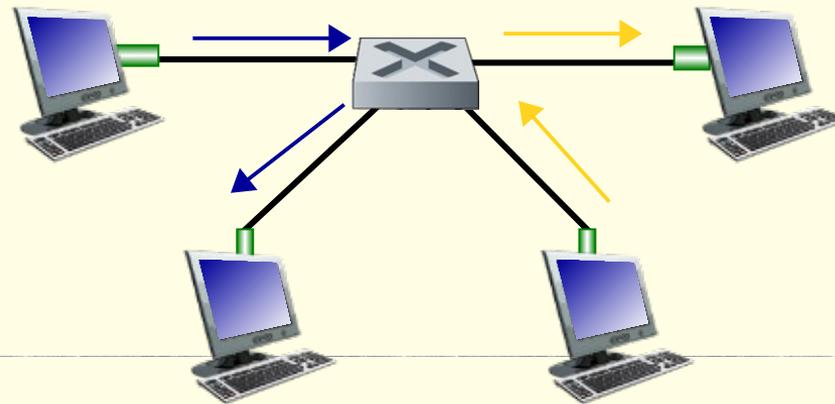
# El switch Ethernet

- Un **switch Ethernet** implementa sólo hasta la capa de enlace
  - Tienen por objeto **almacenar y hacer forwarding de tramas Ethernet**
  - Al recibir una trama inspeccionan el encabezamiento y en base a la dirección **MAC** destino se deciden cómo resolver el forwarding
  - Posteriormente, hacen uso del protocolo **CSMA/CD** para acceder al segmento de red hacia el cuál hayan decidido hacer forward de la trama



# Forwarding simultáneo

- El switch permite resolver múltiples forwardings en simultáneo
  - Cada nodo cuenta con un enlace dedicado que lo conecta con el switch
  - Por ende, es posible hacer forwarding de múltiples tramas siempre y cuando no colisionen entre sí



# El switch ethernet

- Un switch **Ethernet** están diseñado para que funcione de manera absolutamente **transparente**
  - Las computadoras de la red en principio no tienen forma de detectar la presencia de estos dispositivos
- No necesitan ser configurado manualmente
  - Funcionan de manera “**plug-and-play**”
  - Son capaces de aprender la topología de la red de manera automática



# Dominios de colisión

- La característica más interesante del switch es que **permite aislar el tráfico** de los distintos segmentos que interconecta
  - Cada segmento pasa a constituir **un dominio de colisión independiente**
  - Logra este comportamiento a partir de que no todo tráfico es capaz de atravesarlo, puesto que **las tramas son filtradas** cuidadosamente
  - La clave radica en que el tráfico local a un cierto segmento no sea propagado innecesariamente a los restantes segmentos



# Resolución del forwarding

- ¿Cómo puede hacer un switch para determinar por cuál interfaz debe emitir una cierta trama?
  - Se trata de **un problema de ruteo**
  - Lamentablemente no se puede adoptar la misma solución implementada a nivel de capa de red, puesto que las direcciones **MAC** son planas
  - Esto es, **inspeccionando la MAC no es posible determinar a qué segmento corresponde**, mientras que a partir de una dirección **IP** si es posible determinar a qué red pertenece



# Auto aprendizaje

- El switch **necesita conocer la topología**
  - ➔ Puntualmente requiere acceder al listado de direcciones **MAC** presentes en cada segmento
- No obstante, el switch también **debe operar de manera autónoma**, sin requerir la intervención del administrador de la red
  - ➔ La solución adoptada consiste en permitir que el switch descubra la topología de la red a través de **un mecanismo de auto aprendizaje**

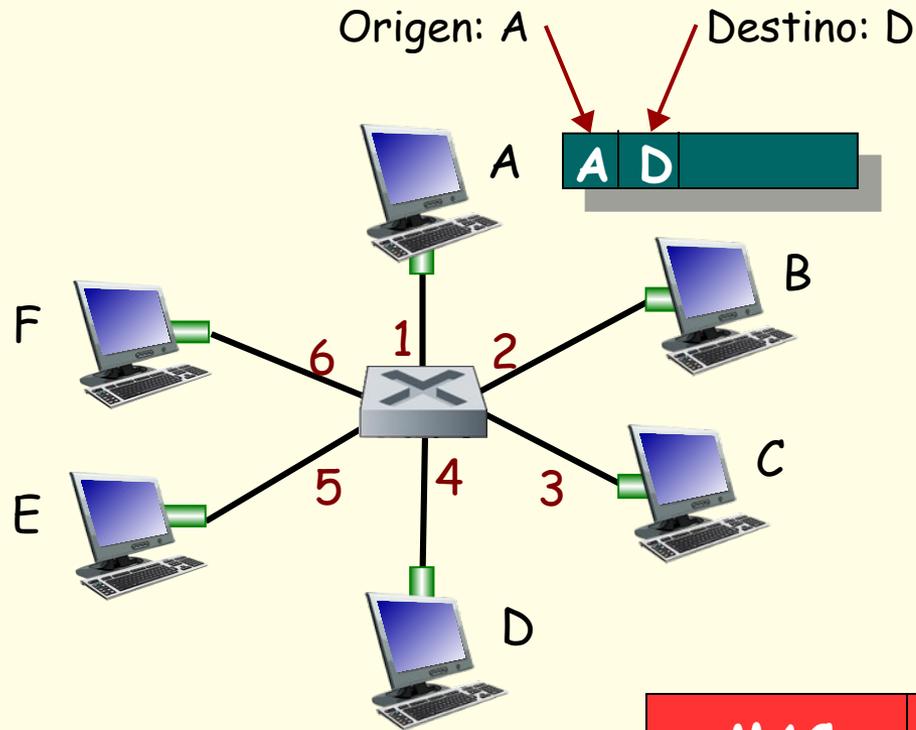


# Auto aprendizaje

- Para aprender la topología de la red el switch construye dinámicamente una tabla
  - Cada entrada de la tabla registra el siguiente mapeo:  
**<Dirección MAC, Interfaz, TTL>**
  - Las entradas desactualizadas son descartadas (el tiempo de vida suele ser 60 minutos)
  - El switch va aprendiendo cuáles direcciones **MAC** pueden ser alcanzadas a través de qué interfaz
  - Al recibir una nueva trama el switch registra en su tabla que ese emisor es alcanzable por esa interfaz



# Auto aprendizaje



MAC	interfaz	TTL
A	1	60

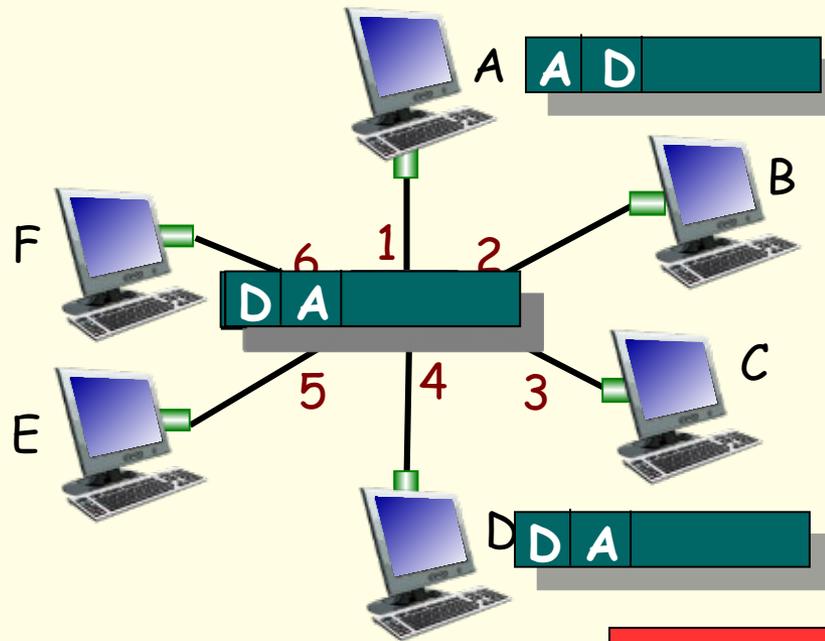


# Filtrado y forwarding

- Algoritmo de filtrado y forwarding:
  - **Paso 1)** Al recibir una nueva trama se accede a la tabla del switch usando la **MAC** destino
  - **Paso 2a)** Si la **MAC** está presente en la tabla y además pertenece al segmento por el cual fue recibida, simplemente se descarta
  - **Paso 2b)** Si la **MAC** está presente en la tabla, pero no pertenece al segmento por el cual fue recibida, se la envía por la interfaz indicada en la tabla
  - **Paso 2c)** Si la **MAC** no está presente en la tabla, se la envía por todas las interfaces salvo la inicial



# Filtrado y forwarding



MAC	interfaz	TTL
A	1	60
D	4	60



# Filtrado y forwarding

- Supongamos que **A** envía una trama a **D**:
  - En primer lugar el switch recibe por su interfaz 1 una trama de **A** destinada para **D**
  - Como recibe una trama de **A** por la interfaz 1, agrega a la tabla la entrada **<A, 1>**
  - Como no sabe en qué segmento está **D**, replica la trama por las restantes interfaces
  - **D** recibe la trama



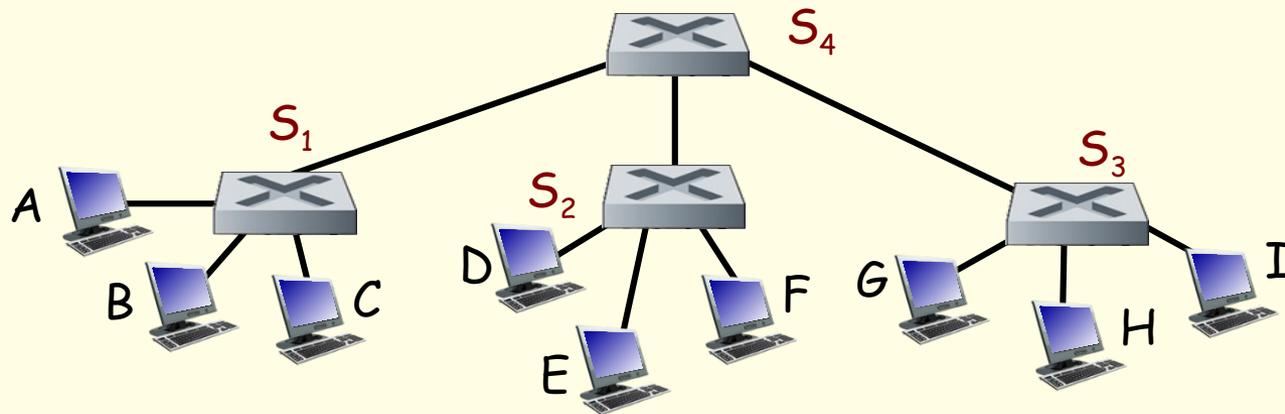
# Filtrado y forwarding

- Supongamos ahora que **D** responde con otra trama destinada para **A**
  - El switch recibe por su interfaz 4 una trama de **D** destinada para **A**
  - Como recibe una trama de **D** por la interfaz 4, agrega a la tabla la entrada **<D, 4>**
  - Usando la tabla determina exactamente en qué segmento se encuentra **A**, por lo que replica la trama sólo por la interfaz 1
  - **A** recibe la trama



# Interconectando switches

- A su vez, los switches se pueden interconectar entre sí, formando una jerarquía:



- Suponiendo que **A** le quiere enviar una trama a **G**, ¿cómo hace **S<sub>1</sub>** para saber qué interfaz usar?

¡exactamente igual que antes!

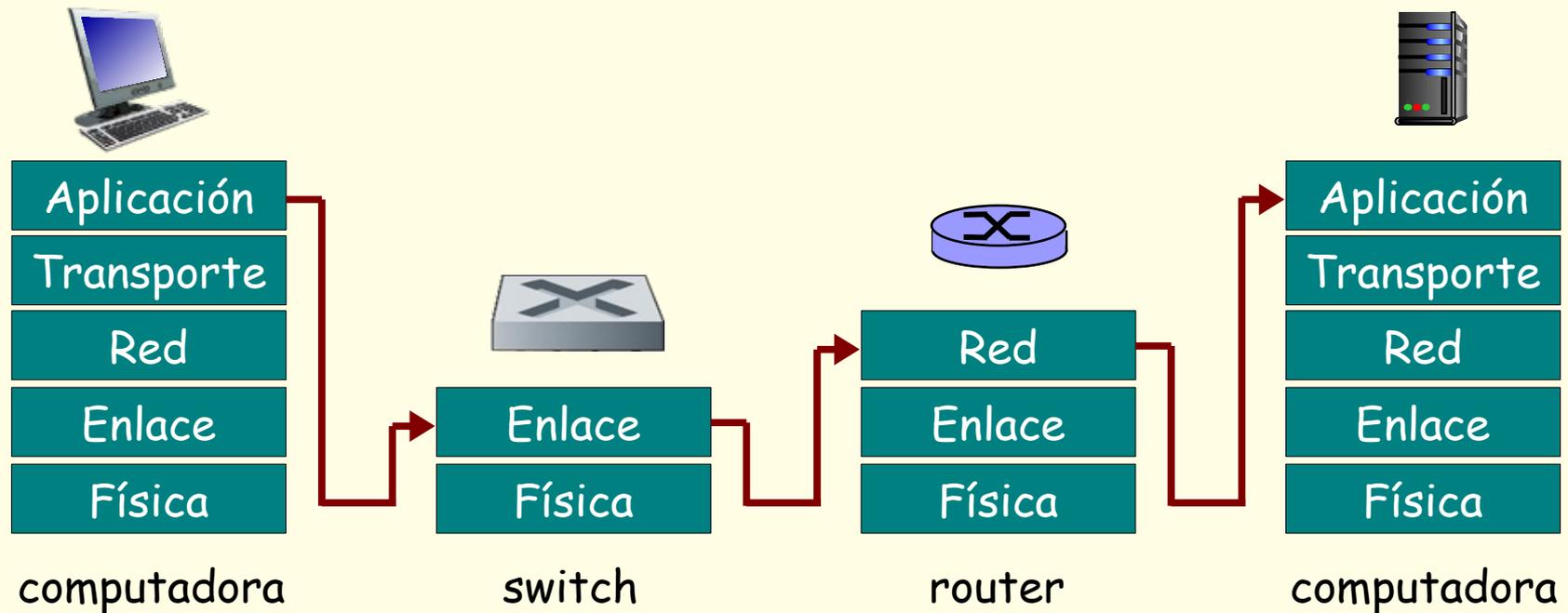


# Switches vs. Routers

- Switches y routers comparten algunas características, pero se distinguen en otras:
  - Se trata de dispositivos que **primero almacenan los PDU** que reciben **para luego hacer forward**
  - Los routers son dispositivos de la capa de red, mientras que los switches son dispositivos de la capa de enlace
  - Los routers mantienen **tablas de forwarding** e implementan **algoritmos de ruteo**, mientras que los switches mantienen **tablas de switch** e implementan **aprendizaje automático de la topología de la red**



# Switches vs. Routers



# Switches

## ● Aspectos destacables:

- La operario interna es más simple y requiere **menos procesamiento por trama**
- Las tablas del switch se construyen de manera autónoma, **sin intervención del administrador**

## ● Aspectos cuestionables:

- El tráfico de tipo broadcast **atraviesa la separación de dominios de colisión**
- **No tolera que existan ciclos** en la topología de red (el protocolo **STP** asegura conformar un árbol)



# Routers

## ● Aspectos destacables:

- Permite **topologías de una complejidad arbitraria**, los ciclos se evitan a través del campo **TTL** y de buenos protocolos de ruteo
- El tráfico de tipo broadcast **no atraviesa la separación entre redes**

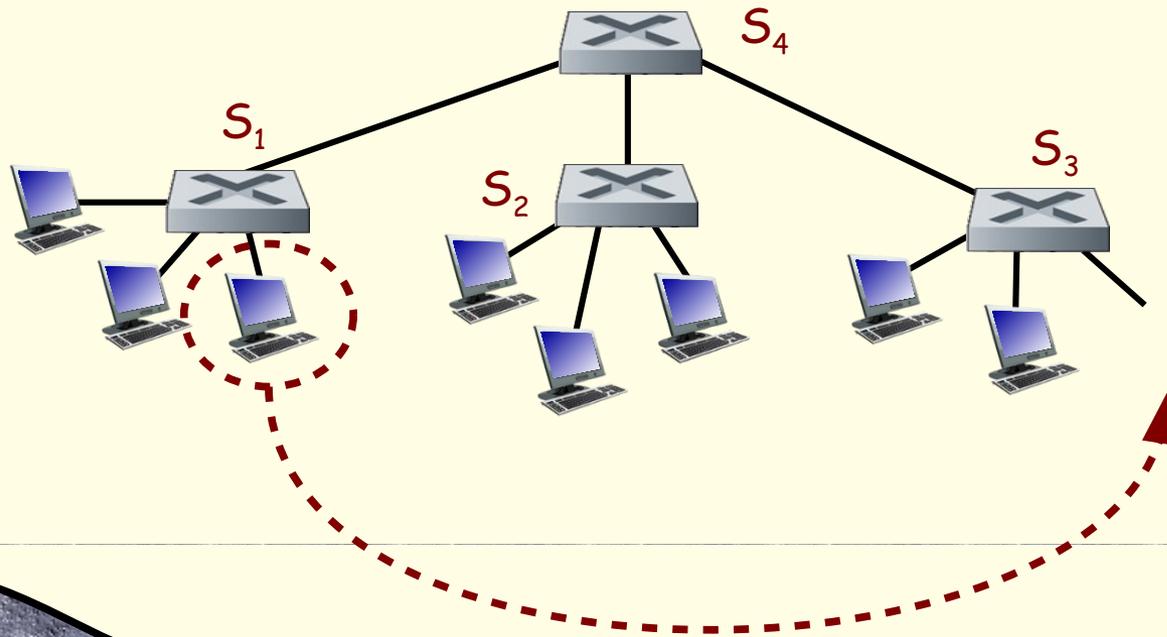
## ● Aspectos cuestionables:

- El **administrador debe configurar los parámetros del routers** (de mínima su dirección **IP**)
- El **costo de procesamiento por datagrama es superior**



# LAN Virtuales

- ¿Qué sucede si un usuario de una subred necesita conectarse al mismo dominio de colisión, pero con la salvedad de trabajar desde otra subred?



# LAN Virtuales

- La alternativa naïve sería que la totalidad de la red conforme un único dominio de colisión
  - ➔ Esto implica que la totalidad del tráfico broadcast de la capa de enlace recorra la totalidad de la red
- Naturalmente, esto puede comprometer la seguridad, la privacidad y la eficiencia de la red



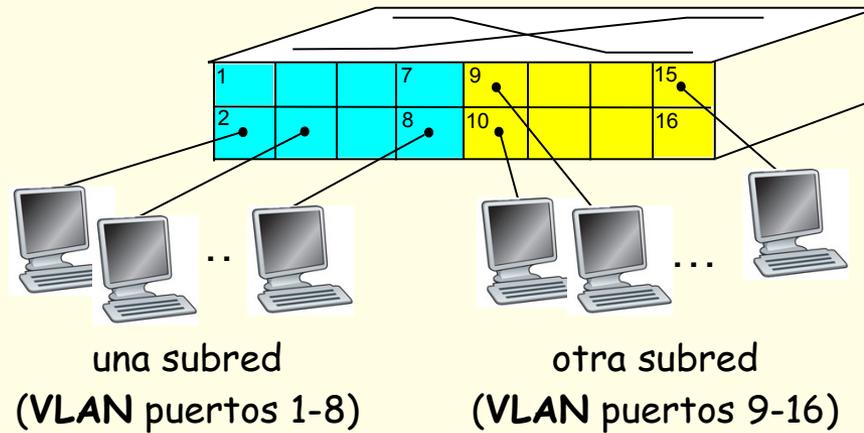
# LAN Virtuales

- Una solución más elegante consiste en hacer uso de redes **LAN** virtuales (**VLAN**)
- La idea es que la misma red física se particione en múltiples redes lógicas
- Este comportamiento puede ser alcanzado particionando en distintas **VLANs** a los puertos de los switches
  - ➔ Los puertos de un único switch físico se comportan como si fueran los puertos de múltiples switches lógicos independientes

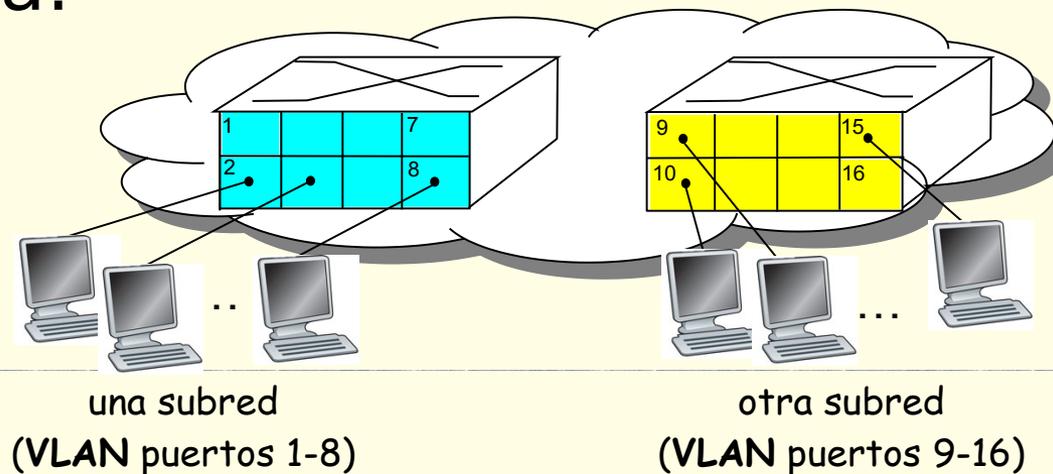


# VLAN basada en puertos

## ● Visión física:



## ● Visión lógica:

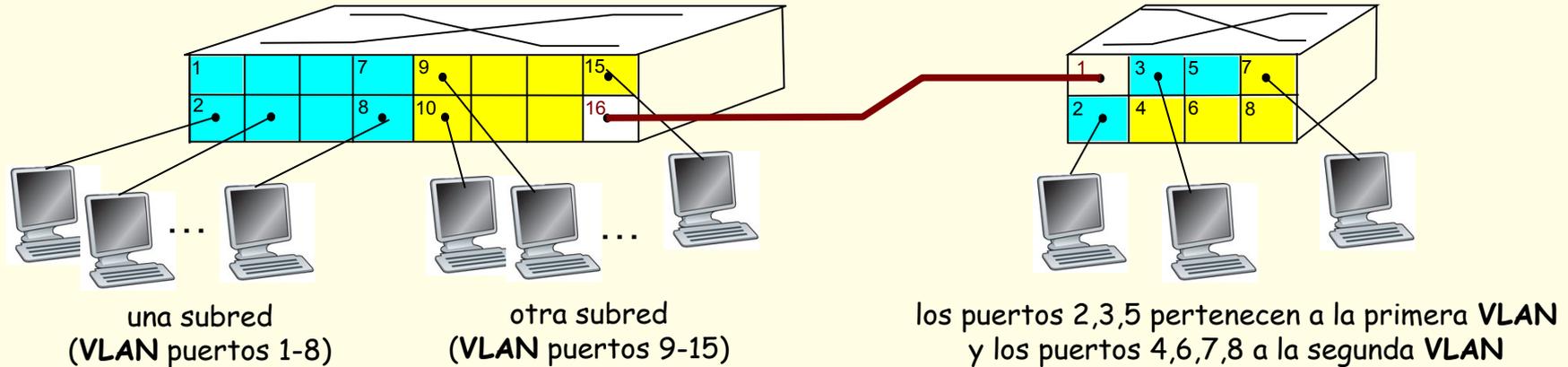


# VLAN basada en puertos

- El poder definir **VLANs** resulta muy práctico:
  - ➔ En primer lugar es posible aislar el tráfico de las distintas redes lógicas
  - ➔ La distribución de los puertos se puede realizar de forma dinámica
  - ➔ También es posible particionar en redes a partir de las direcciones físicas de los adaptadores
  - ➔ El forwarding entre redes lógicas se debe resolver de la manera usual a nivel de capa de red (es decir, haciendo uso de un router)



# VLAN con múltiples switches



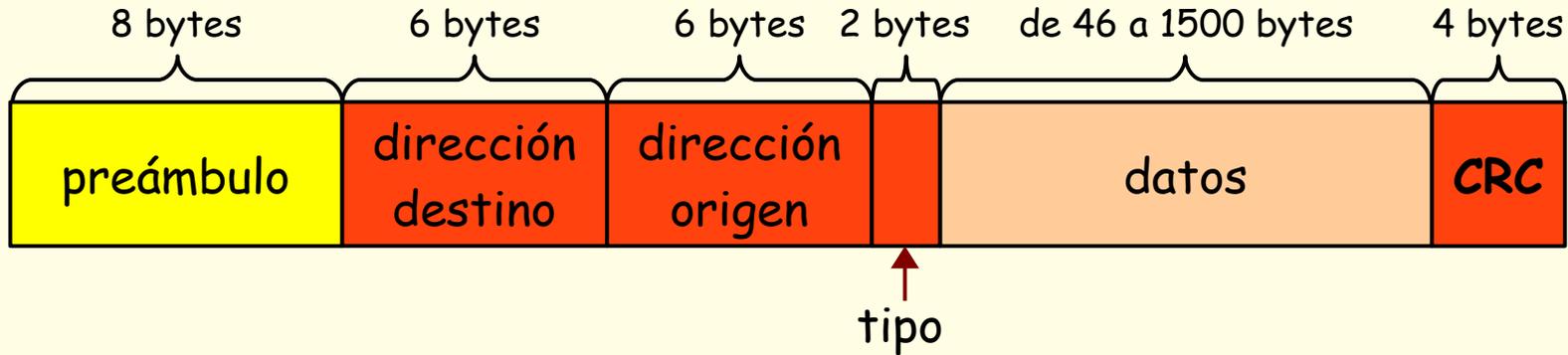
• También es posible definir una **VLAN** que abarque múltiples switches:

- ➔ Se reserva un puerto especial en cada switch para vincular las redes virtuales
- ➔ Hará falta incorporar un nuevo campo en las tramas

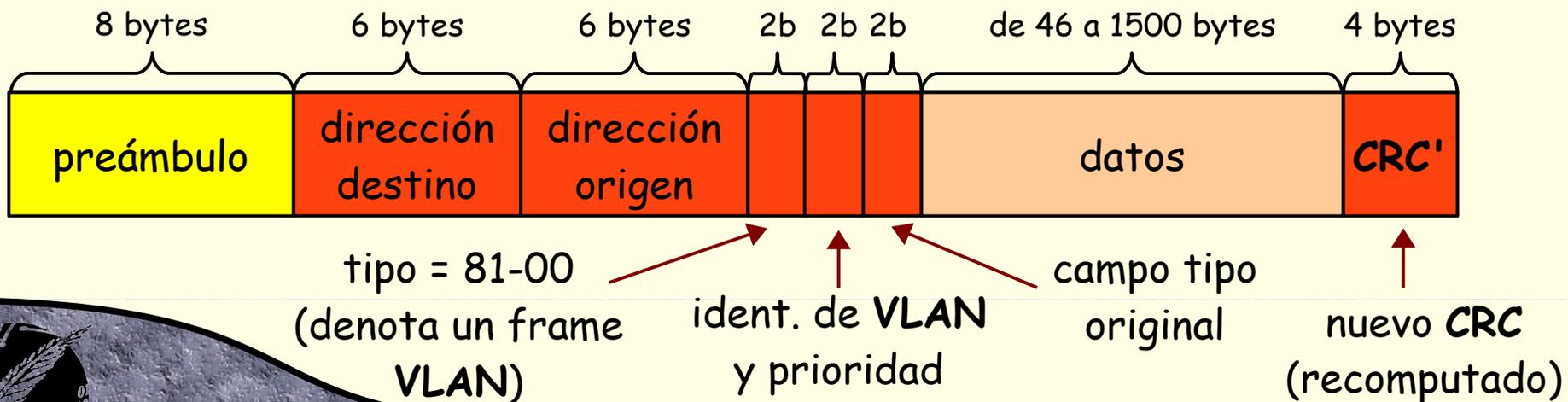


# Trama ethernet para VLAN

## Trama ethernet convencional (IEEE 802.3):



## Trama ethernet para VLAN (IEEE 802.3ac):



# ¿VLAN o VPN?

- La tecnología de **LAN** virtuales no debe confundirse con la tecnología **VPN (Virtual Private Network)**
  - ➔ Una **VLAN** modifica por software la topología de una red local
  - ➔ Una **VPN** esencialmente brinda conectividad a nivel de capa de enlace a través de un tunel punto a punto
- Un uso frecuente para las **VPNs** es el teletrabajo o bien escapar a limitaciones geográficas de acceso o bien de contenido (por caso, Netflix)



# ¿Preguntas?

