



**LABORATORIO DE PROGRAMACIÓN DE REDES**  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Ethernet

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

Laboratorio de Programación de Redes  
3º Ingeniería Técnica en Informática de Gestión



# Objetivo

- Ethernet como tecnología LAN



# Contenido

- Introducción
- Formato de trama
- Protocolo MAC (CSMA/CD)
- Tecnologías
- Equipos activos:
  - Repetidores
  - Hubs
  - Puentes
  - Conmutadores



# Ethernet

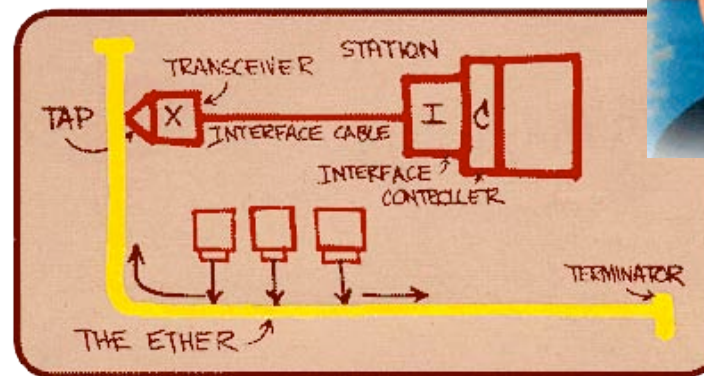
- Tecnología de LAN ampliamente extendida
- Simple de instalar
- Barata
- Múltiples medios físicos (coaxial, par trenzado, fibra)
- Ha ido aumentando su velocidad (10Mbps-10Gbps)





# Ethernet “original”

- ¿Quién?      ¿Cuándo?      ¿Dónde? ....
- **Bob Metcalfe**. Años 70-80. Xerox Palo Alto Research Center, California
- Posteriormente fundador de *3Com*
- 10Mbps
- Thick Ethernet o 10Base5
- Topología en bus
- Estándar DIX (Digital, Intel, Xerox)



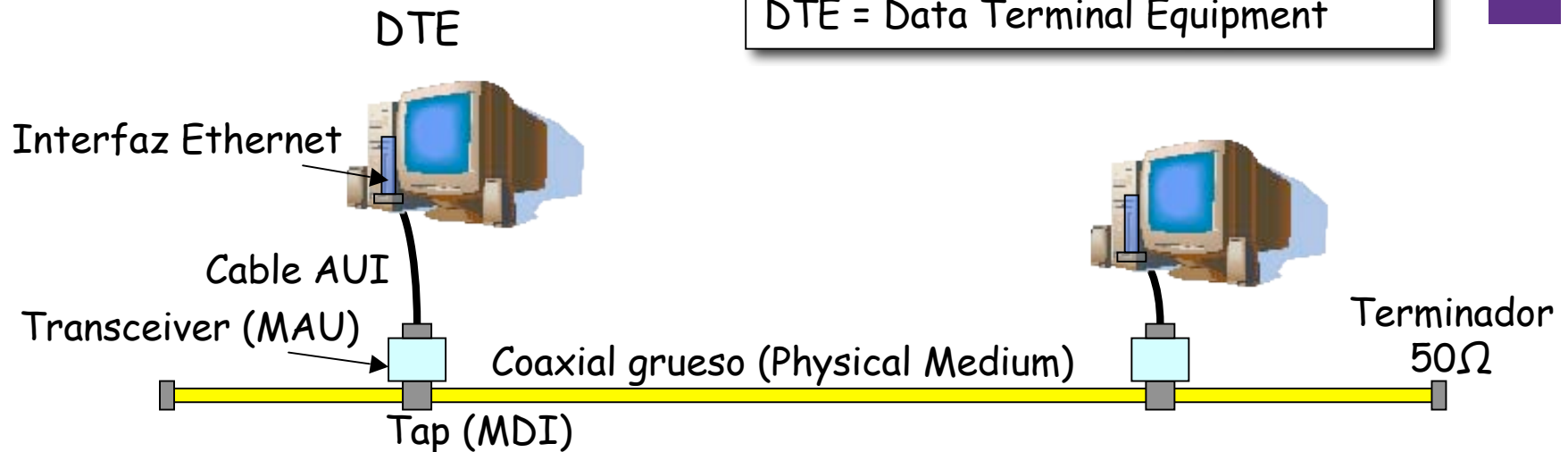


# Ethernet “original”

## 10Base5

- “Thick Ethernet”
- Coaxial grueso (amarillo)
- 5 → 500m (entre repetidores)

MAU = Medium Attachment Unit  
MDI = Medium Dependent Interface  
AUI = Attachment Unit Interface  
DTE = Data Terminal Equipment





**LABORATORIO DE PROGRAMACIÓN DE REDES**  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Formato de trama



# Nivel MAC

- PDU del nivel de enlace = Trama
- Formato de la trama (estándar DIX)
  - Direcciones MAC
  - Ethertype
  - Datos
  - CRC
- Hoy en día recogido también en el IEEE 802.3







# Trama DIX: Direcciones MAC

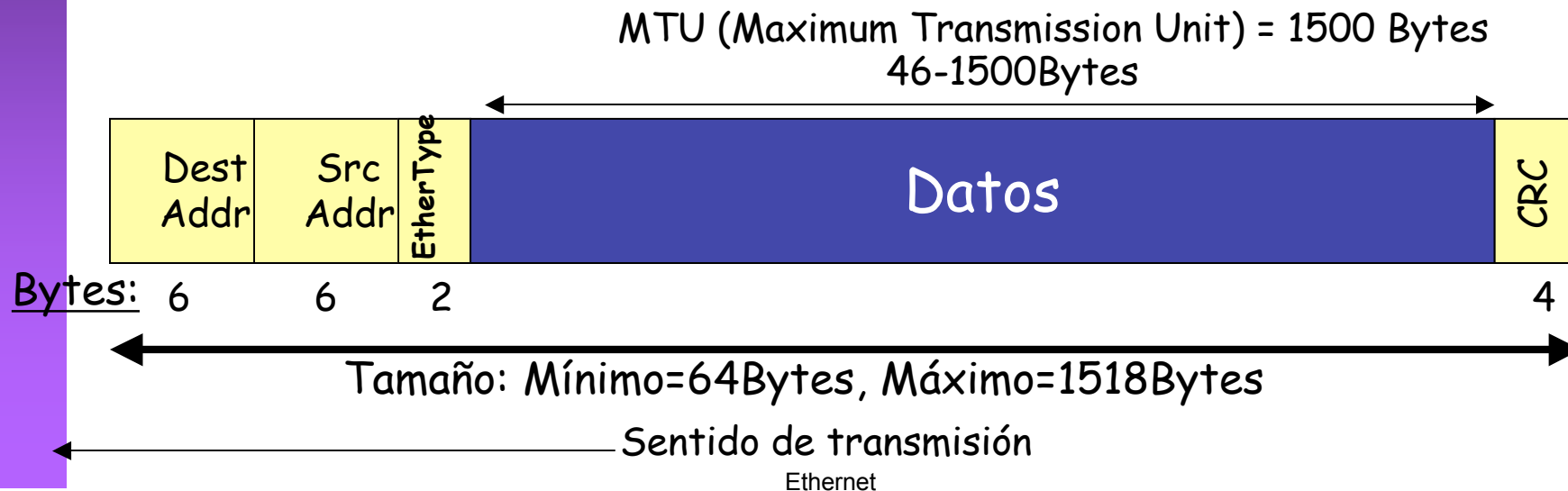
- Única por tarjeta (“a fuego”)
- Espacio plano de direcciones
- 6 bytes (ej: 00:00:0C:95:7A:EA)
- Tipos de direcciones
  - Individual/Grupo: octavo bit está a 0/1
  - Broadcast: todos los bits están a 1
  - Universal/Local: séptimo bit está a 0/1
- Gestionadas por el IEEE
  - Los primeros 24 bits identifican al fabricante
    - 00:00:0C (y otros) = Cisco Systems
    - 00:00:63 = HP
    - 00:20:AF (y otros) = 3Com





# Trama DIX: Encapsulación

- Ethertype (ej: 0x0800 = 2048 => IP)
- Datos:
  - MTU (Maximum Transmission Unit) de 1500 Bytes
  - Tamaño mínimo de 46 Bytes
  - ¿Si no alcanza el mínimo? Relleno (padding) con 0s hasta el mínimo
- IP sobre EthernetII en RFC 894





**LABORATORIO DE PROGRAMACIÓN DE REDES**  
*Área de Ingeniería Telemática*

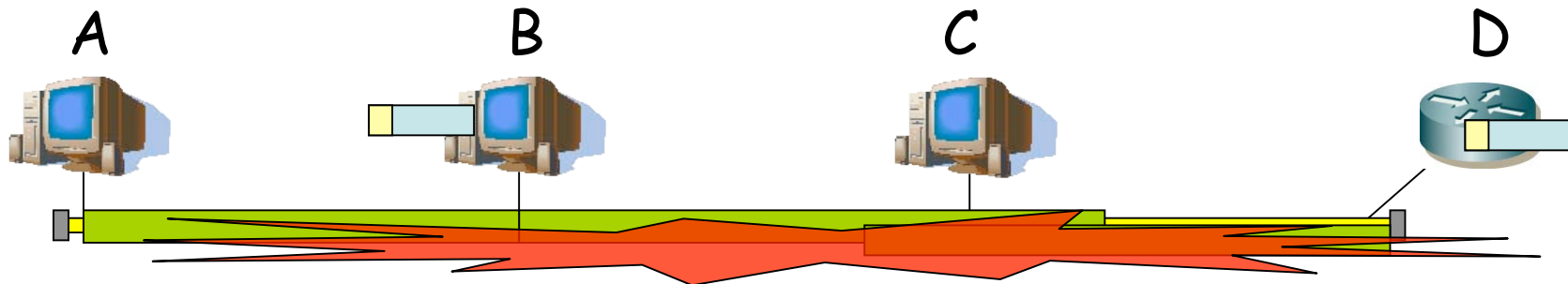
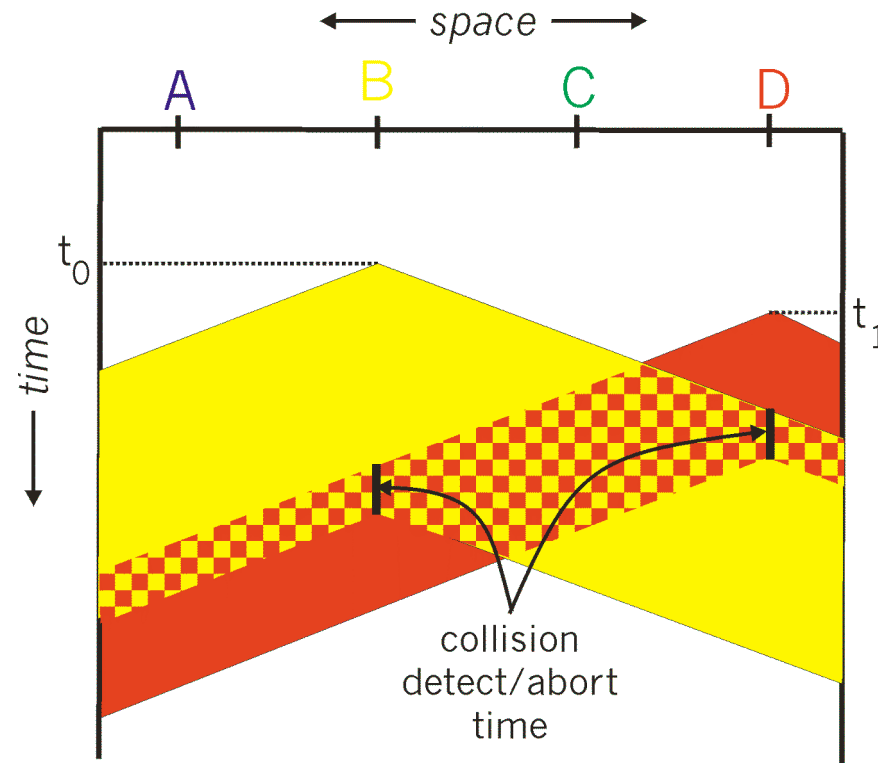
# CSMA/CD



# Subnivel MAC

## CSMA/CD

- Canal inactivo: transmitir la trama
- Canal ocupado: retrasar la transmisión
- Debido al retardo puede que un nodo no note que otro está transmitiendo
- CD: Si detecta colisión mientras transmite reintentar tras un tiempo aleatorio (backoff)
- Ejemplo (. . .)





**LABORATORIO DE PROGRAMACIÓN DE REDES**  
*Área de Ingeniería Telemática*

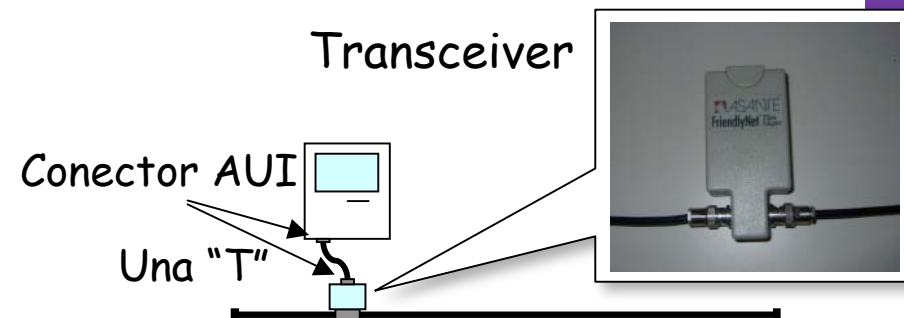
# Tecnologías



# Tecnologías Ethernet

## 10Base2

- “Thinnet” o “Cheapernet”
- IEEE 802.3a
- Coaxial fino y flexible (negro)
- 2 → 185m (entre repetidores)
- Transceiver opcional (más barato)

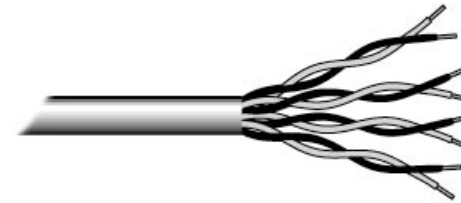




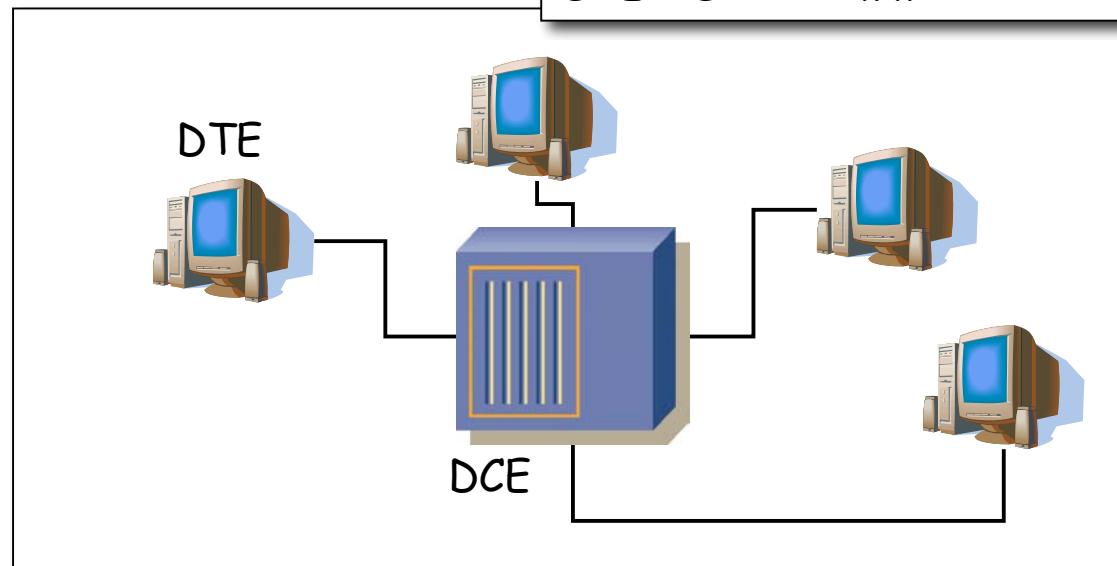
# Tecnologías Ethernet

## 10Base-T

- IEEE 802.3i
- Cables de par trenzado
- Topología física en estrella
  - Elemento central = “Hub”
- Topología lógica en bus



DTE = Data Terminal Equipment  
DCE = Data Communications Equipment



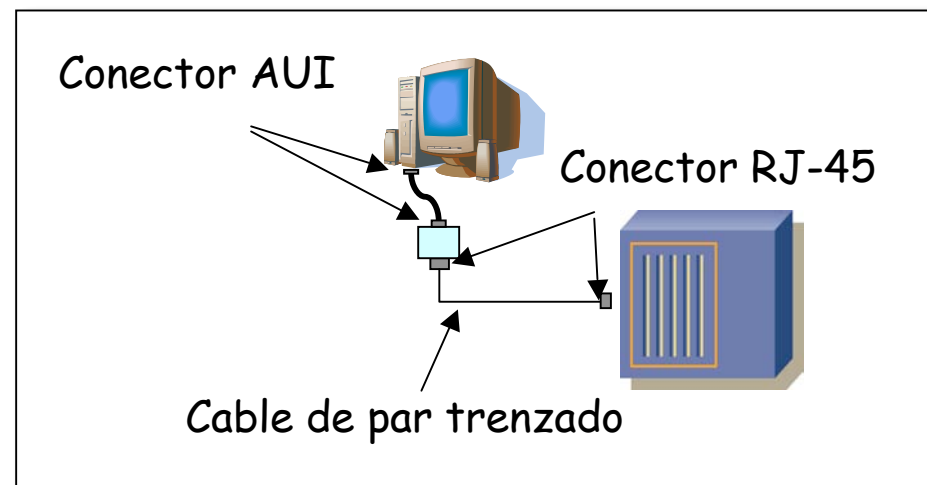
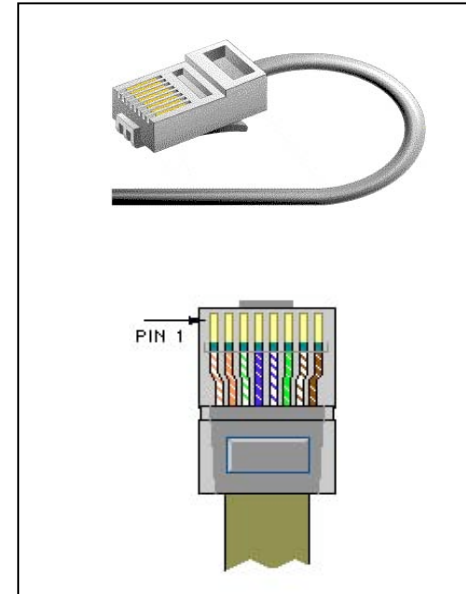
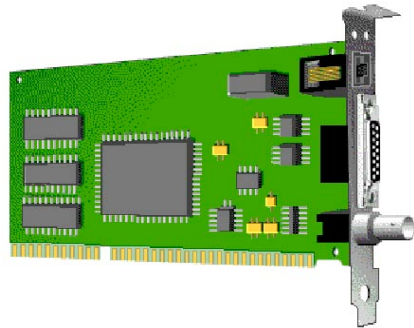
Ethernet



# Tecnologías Ethernet

## 10Base-T

- Transceiver opcional
- Conector RJ-45



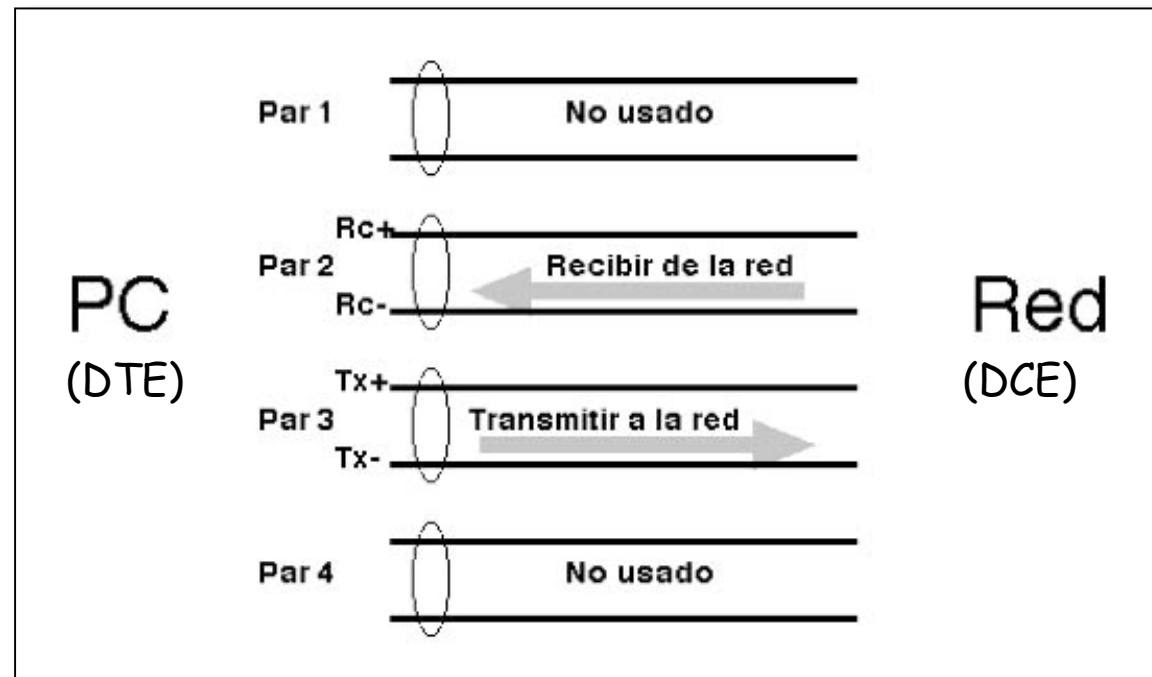




# Tecnologías Ethernet

## Cable de par trenzado

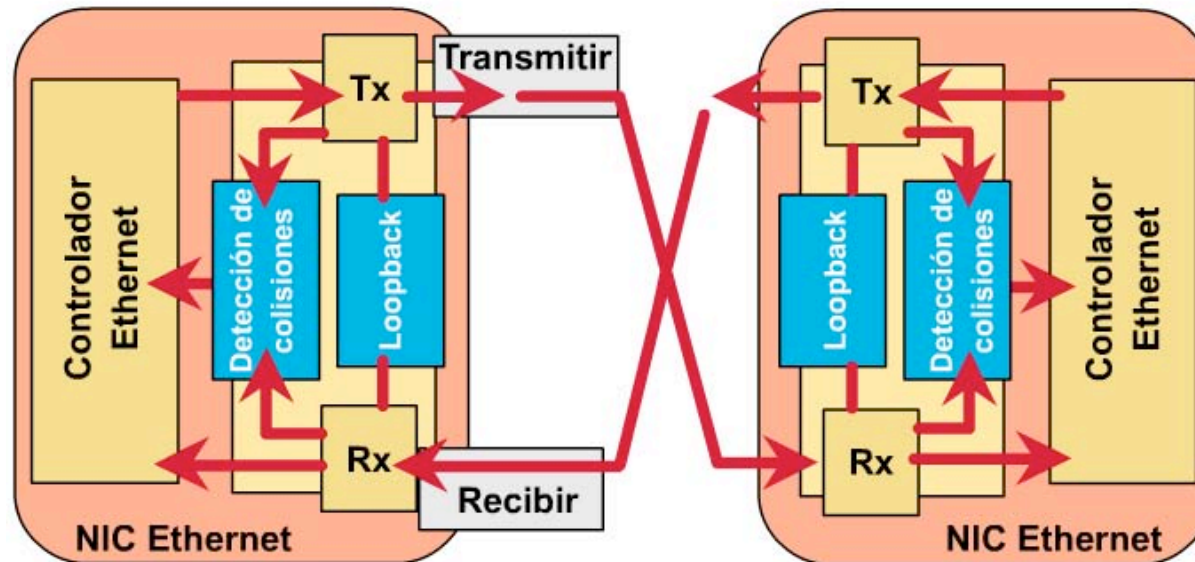
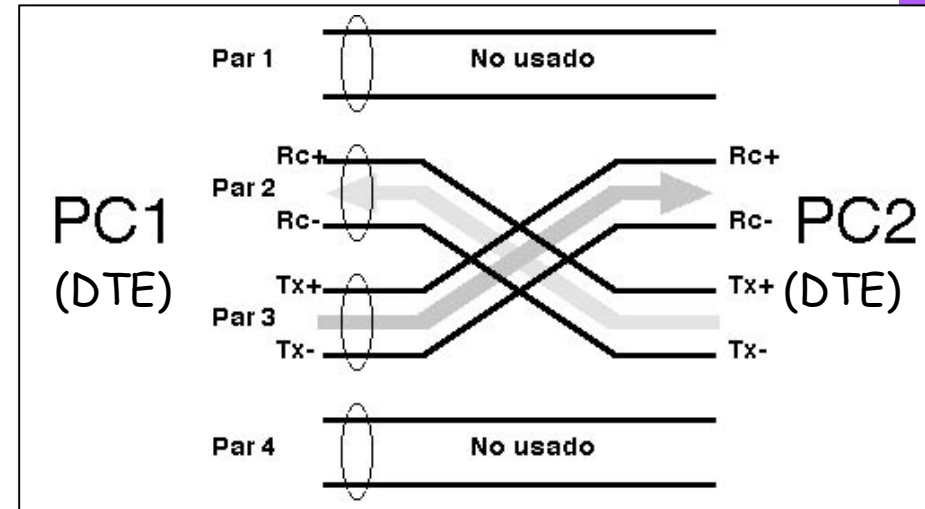
- Ethernet 10Base-T emplea 2 pares de al menos categoría 3
- Un par transmisión, otro recepción
- En un hub las posiciones de los pares están intercambiadas



# Tecnologías Ethernet

## Cable de par trenzado

- Para conectar dos PCs directamente se necesita un cable cruzado
- Un puerto de un router es como el de un PC

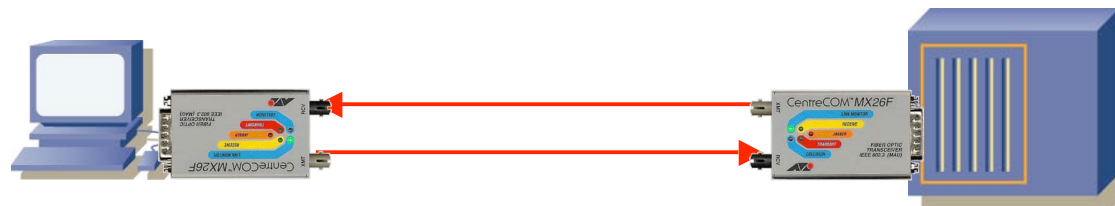




# Tecnologías Ethernet

## 10BaseFL

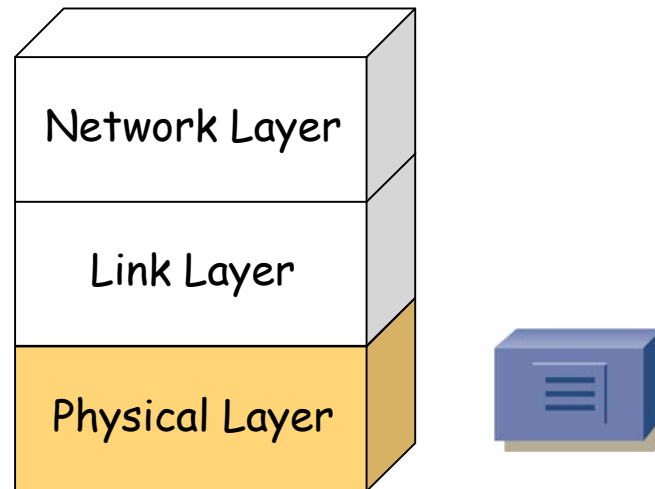
- Fibra óptica (Fiber optic Link)
- IEEE 802.3j
- Inmune a interferencias electromagnéticas
- Hasta 2 Km con F.O. multimodo
- Usado en:
  - El *backbone* de una LAN
  - Cableado vertical
  - Larga distancia a un host





# Repetidores

- “Repetidor”
- “Hub”
- “Hub repetidor”
- “Concentrador”
- “Concentrador de cableado”
- Nivel 1 OSI (nivel físico)
- Regeneración de la señal eléctrica
- No tienen direcciones MAC
- No modifican las tramas

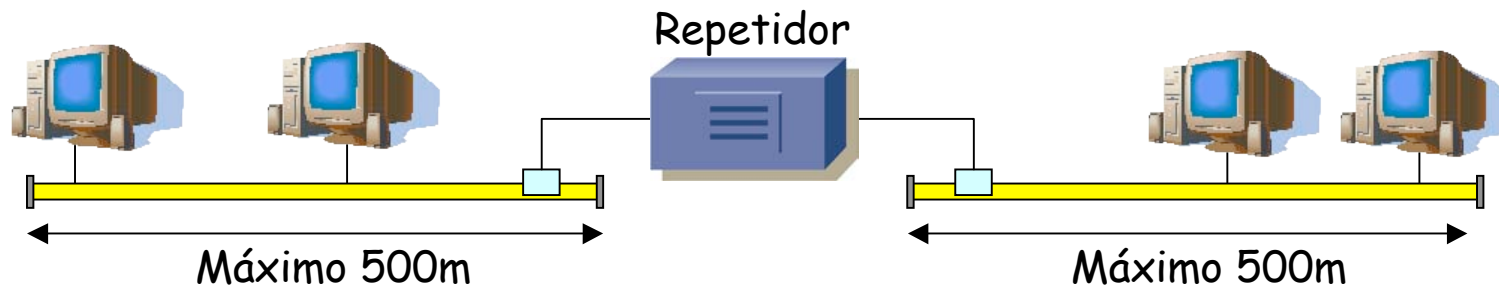


Ethernet



# Repetidores

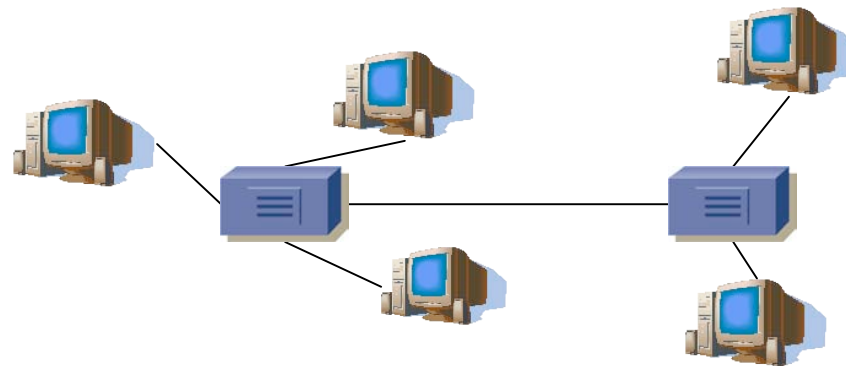
- Unir “segmentos” Ethernet formando un solo “dominio de colisión”
- Exceder los límites de distancia y número de hosts conectados





# Repetidores

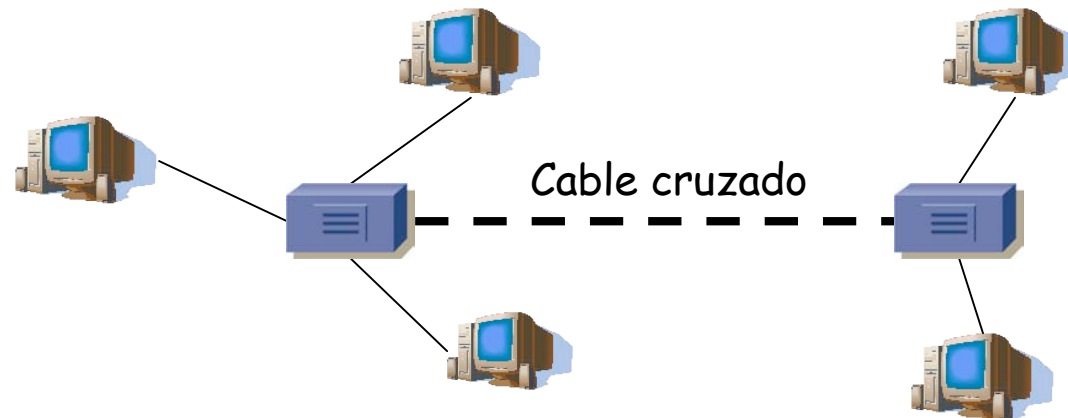
- Unir “segmentos” Ethernet formando un solo “dominio de colisión”
- Exceder los límites de distancia y número de hosts conectados





# Conexión de hubs 10Base-T

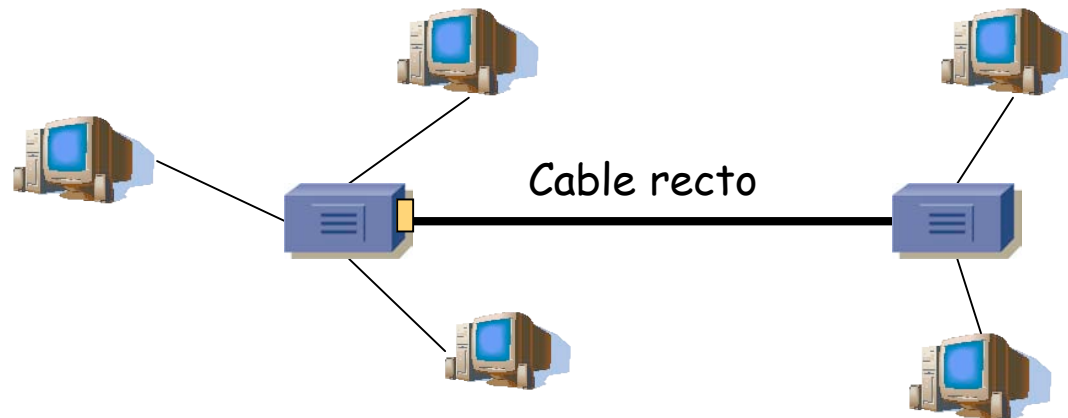
- Los puertos de ambos hubs tienen idéntica disposición de pares
- Interconexión mediante cable cruzado





# Conexión de hubs 10Base-T

- Muchos hubs poseen un puerto de “uplink”
- Este puerto tiene los pares como un PC
- Se puede conectar mediante cable recto a un puerto normal de otro hub



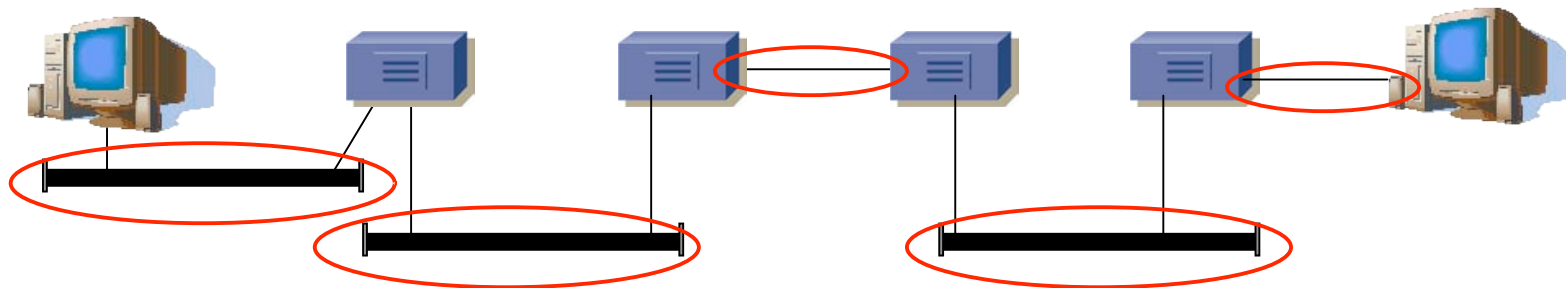
- Podría conectarse un PC a uno de estos puertos mediante un cable cruzado





# Interconexión de repetidores

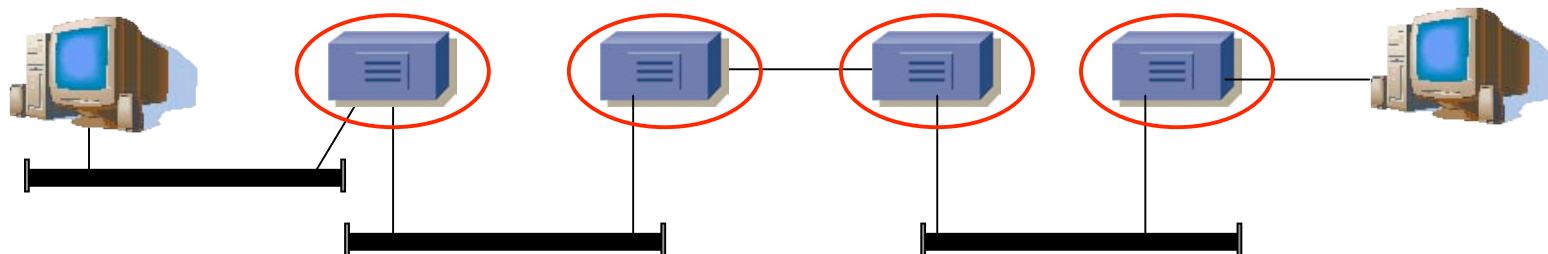
- Pueden tener interfaces de diferentes tecnologías de nivel físico (coaxial, par trenzado)
- Límites en el número de ellos que puede haber entre dos hosts
- Aproximación: Regla “5-4-3-2-1”
  - *“En un camino entre dos estaciones el máximo son 5 segmentos en serie, (...)”*





# Interconexión de repetidores

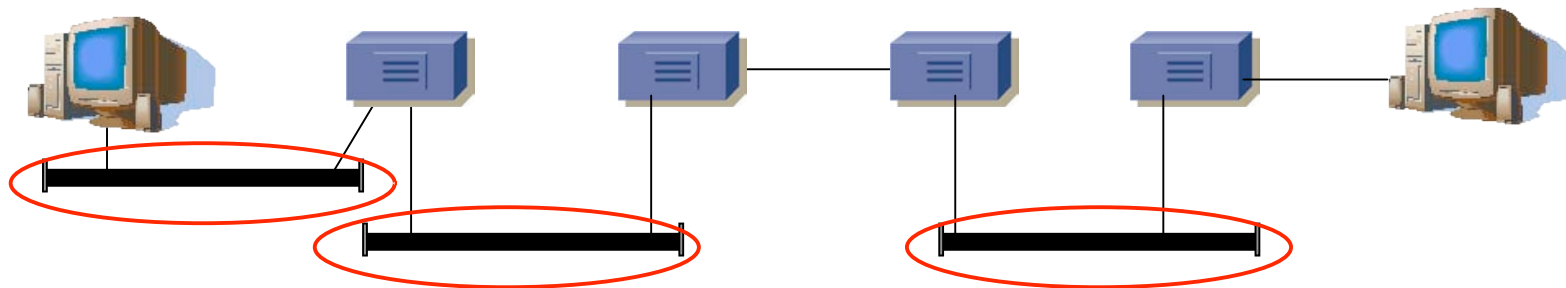
- Pueden tener interfaces de diferentes tecnologías de nivel físico (coaxial, par trenzado)
- Límites en el número de ellos que puede haber entre dos hosts
- Aproximación: Regla “5-4-3-2-1”
  - *“En un camino entre dos estaciones el máximo son 5 segmentos en serie, con hasta 4 repetidores (...)”*





# Interconexión de repetidores

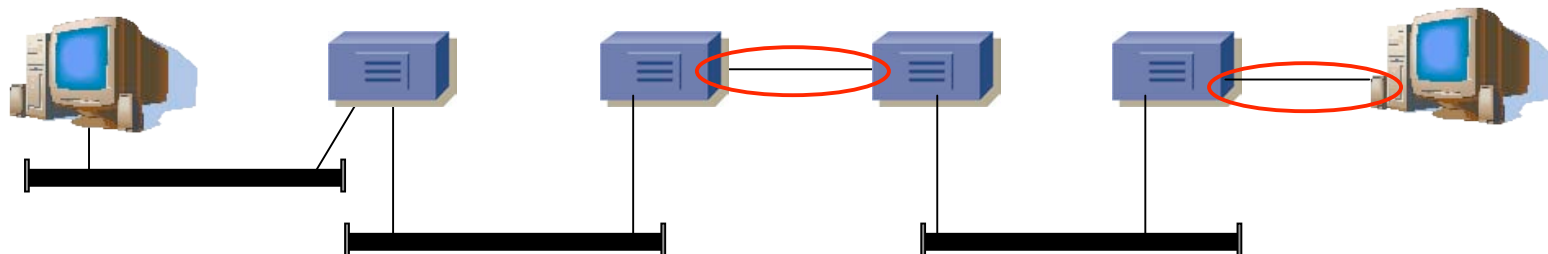
- Pueden tener interfaces de diferentes tecnologías de nivel físico (coaxial, par trenzado)
- Límites en el número de ellos que puede haber entre dos hosts
- Aproximación: Regla “5-4-3-2-1”
  - *“En un camino entre dos estaciones el máximo son 5 segmentos en serie, con hasta 4 repetidores y no más de 3 segmentos compartidos (...)”*





# Interconexión de repetidores

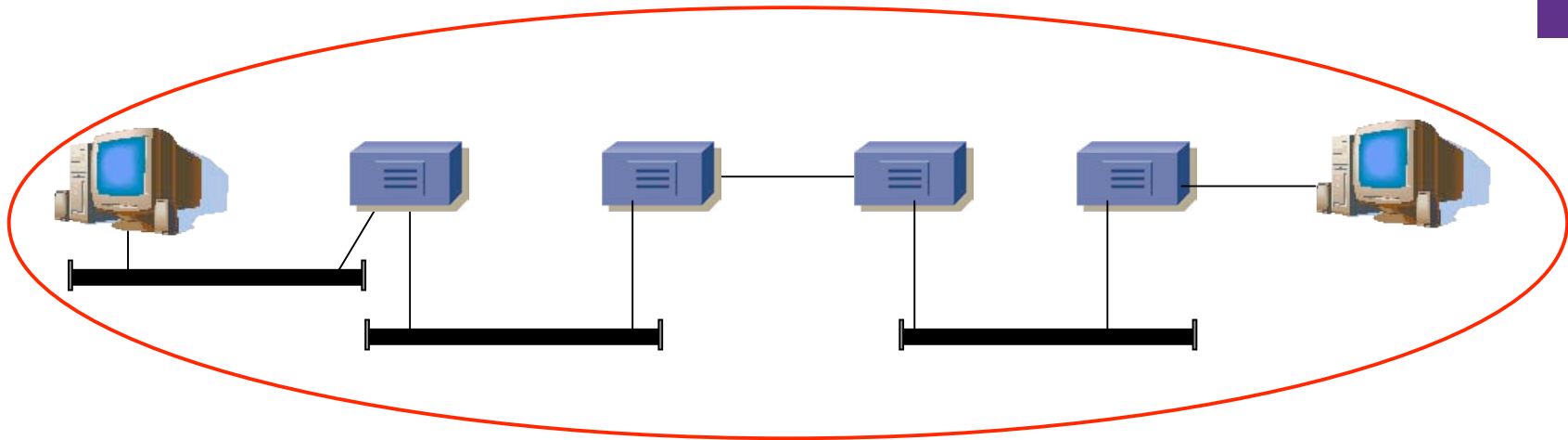
- Pueden tener interfaces de diferentes tecnologías de nivel físico (coaxial, par trenzado)
- Límites en el número de ellos que puede haber entre dos hosts
- Aproximación: Regla “5-4-3-2-1”
  - *“En un camino entre dos estaciones el máximo son 5 segmentos en serie, con hasta 4 repetidores y no más de 3 segmentos compartidos, entonces habrá 2 enlaces dedicados (...)”*





# Interconexión de repetidores

- Pueden tener interfaces de diferentes tecnologías de nivel físico (coaxial, par trenzado)
- Límites en el número de ellos que puede haber entre dos hosts
- Aproximación: Regla “5-4-3-2-1”
  - *“En un camino entre dos estaciones el máximo son 5 segmentos en serie, con hasta 4 repetidores y no más de 3 segmentos compartidos, entonces habrá 2 enlaces dedicados y 1 solo dominio de colisión”*





# Límites en Ethernet de 10Mbps

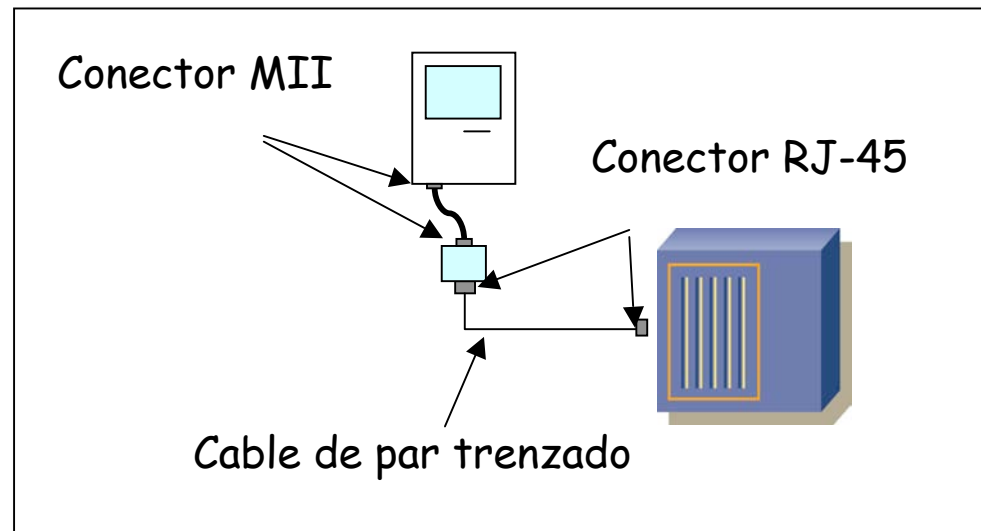
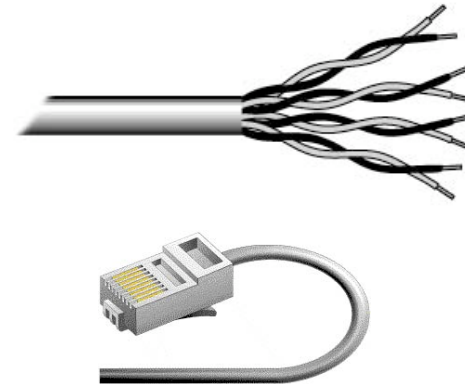
	10BASE5	10BASE2	10BASE-T
Máxima longitud de cable en un segmento	500m	185m	100m
Máximo número de conexiones en un segmento	100	30	1
Máxima longitud del dominio de colisión (con repetidores)	2500m	1000m	2500m <i>(con backbone coaxial)</i>
Máximo número de estaciones en el dominio de colisión	1024	1024	1024



# Tecnologías Ethernet

## 100Base-TX (Fast Ethernet)

- IEEE 802.3u
- MII = Medium Independent Interface
- Cables de par trenzado Cat.5 (100m)
- Transceiver opcional
- Conector RJ-45



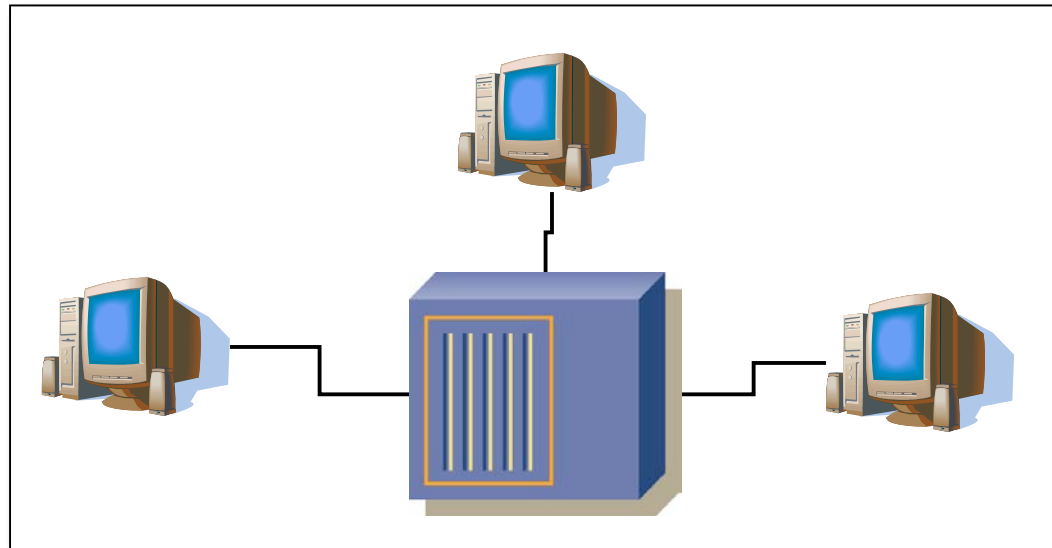
Ethernet



# Tecnologías Ethernet

## 100Base-TX (Fast Ethernet)

- 2 pares Cat.5 (100m)
- Topología física en estrella
  - Elemento central = “Hub”
- Topología lógica en bus



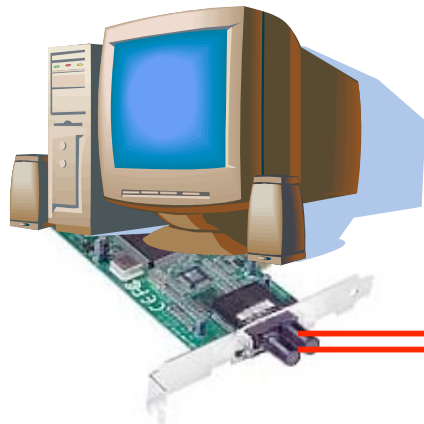
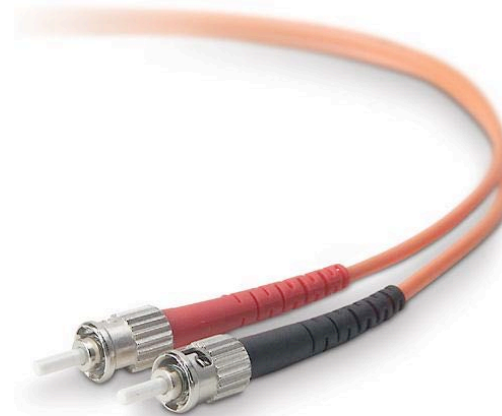




# Tecnologías Ethernet

## 100Base-FX

- Fibra multimodo
- 2 Km (full-duplex)
- 412 m (half-duplex)
- En monomodo 10Km

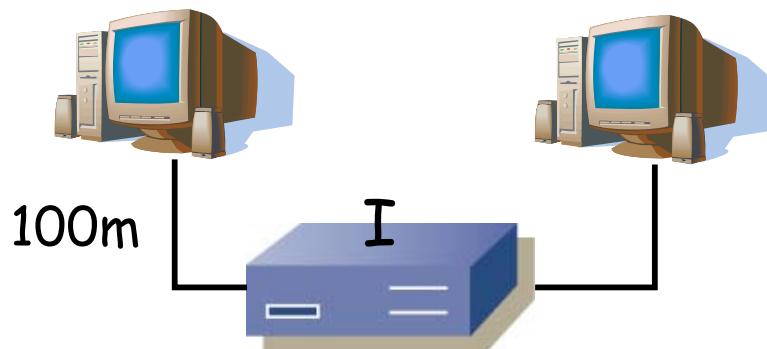




# Repetidores FastEthernet

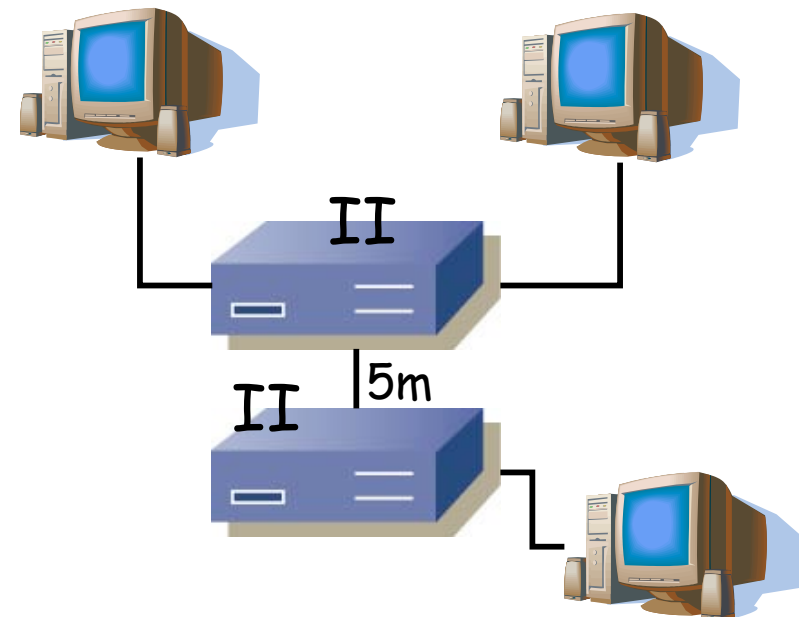
## Clase I

- Convierte a digital
- Permiten diferentes medios físicos
- Mayor retardo
- Solo puede haber 1



## Clase II

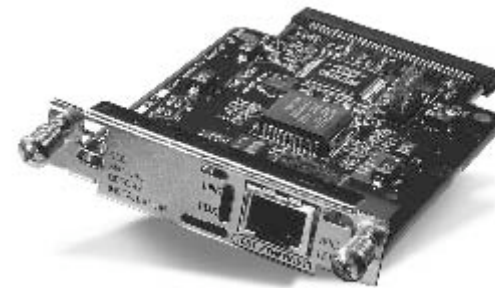
- Menos retardo
- Todos los puertos misma tecnología
- Máximo de 2
- Máximo 5m entre ellos





# Autonegociación

- Opcional en IEEE 802.3u (Fast Ethernet)
- Extendida a 10Base-T
- Permite negociar:
  - Half/Full-Duplex
  - 10/100/1000 Mbps
- Mediante pulsos que se envían cuando no hay tramas
- Si un extremo lo soporta y otro no:
  - Extremo que lo soporta puede detectar la velocidad
  - No detecta el *duplex* así que escoge *half-duplex*





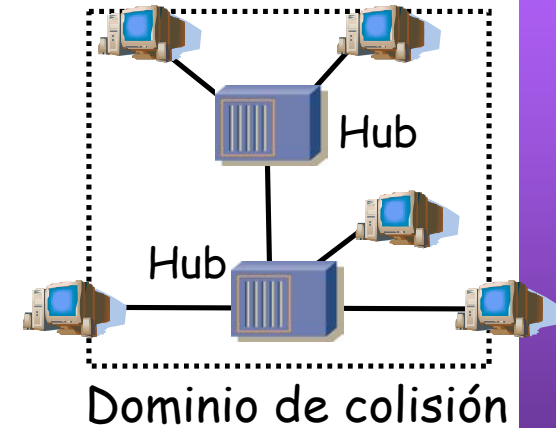
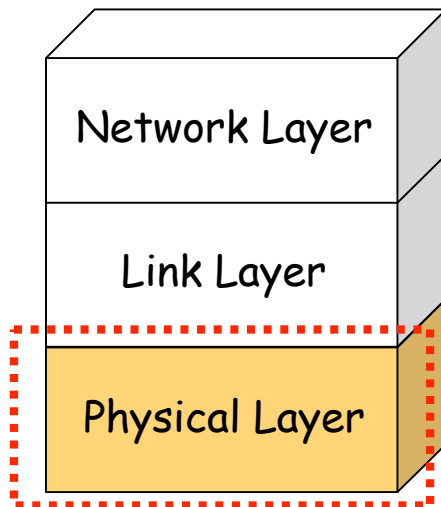
**LABORATORIO DE PROGRAMACIÓN DE REDES**  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Puentes



# Puentes

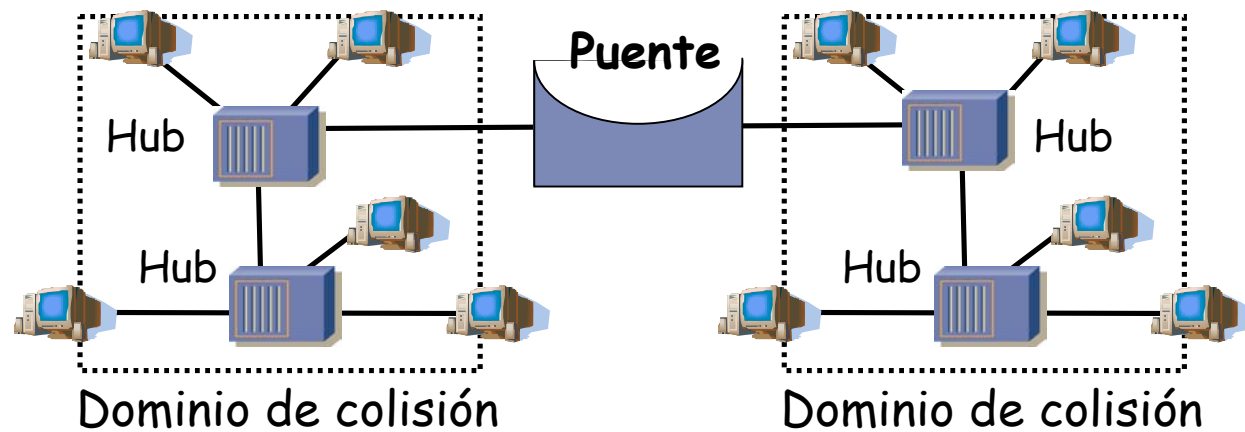
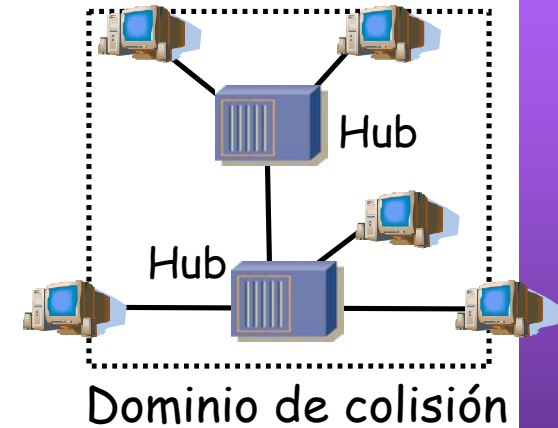
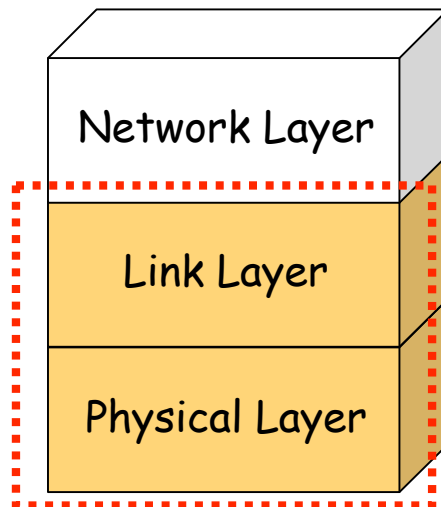
- Repetidores unen segmentos Ethernet a nivel físico  $\Rightarrow$  un dominio de colisión (...)





# Puentes

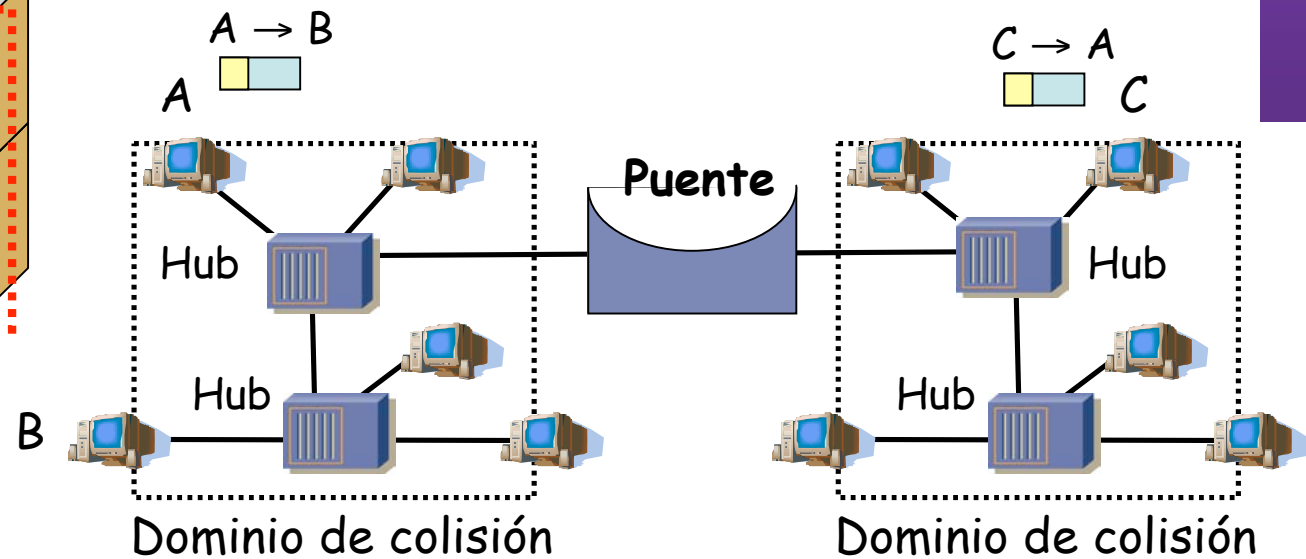
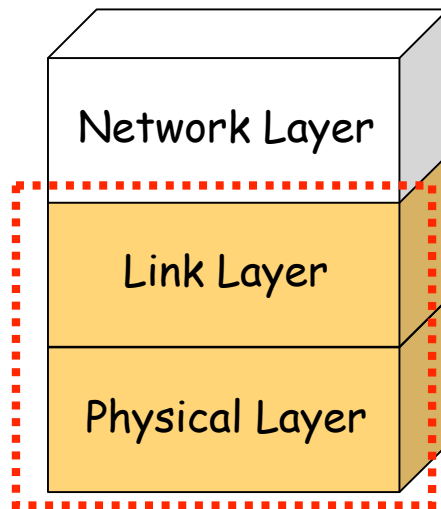
- Repetidores unen segmentos Ethernet a nivel físico  $\Rightarrow$  un dominio de colisión (...)
- Puentes unen segmentos Ethernet a nivel de enlace (...)





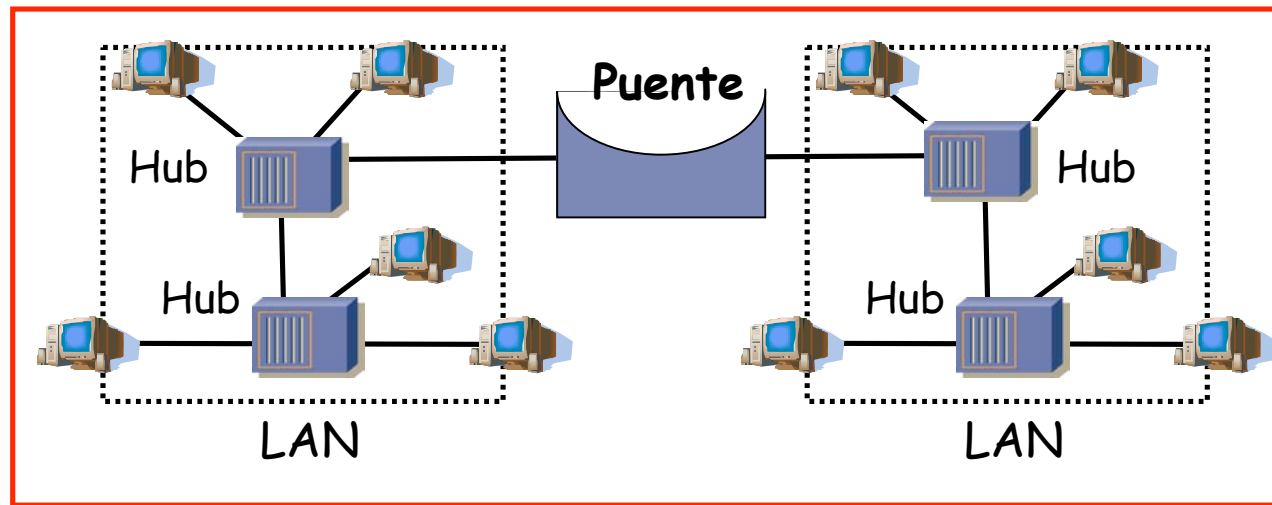
# Puentes

- Idealmente de un dominio a otro reenvían solo las tramas dirigidas a estaciones del otro dominio





# Puentes



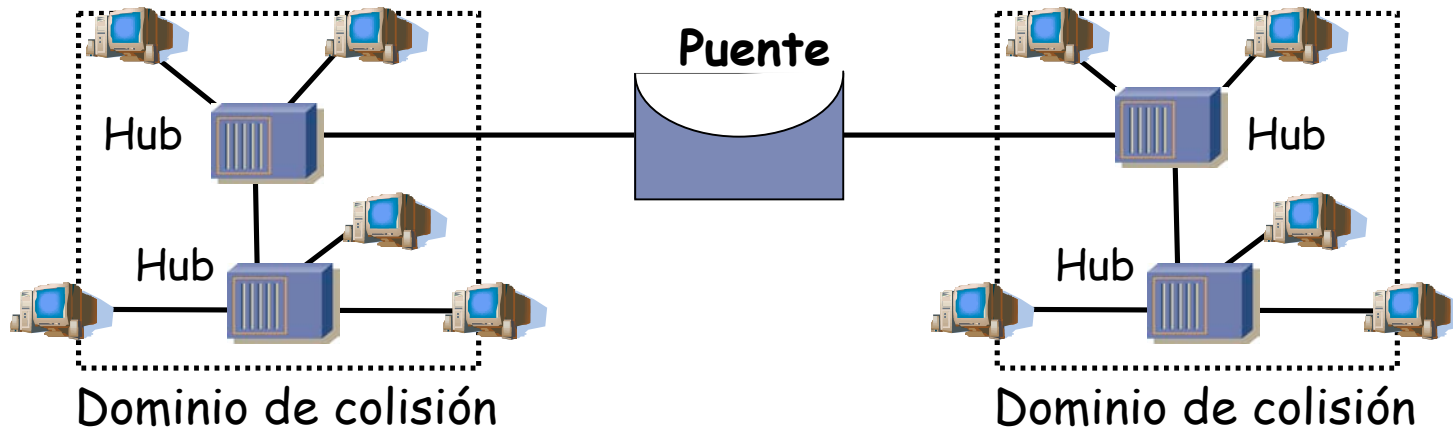
*Bridged Local Area Network*

- La denominación de LAN se suele usar indistintamente





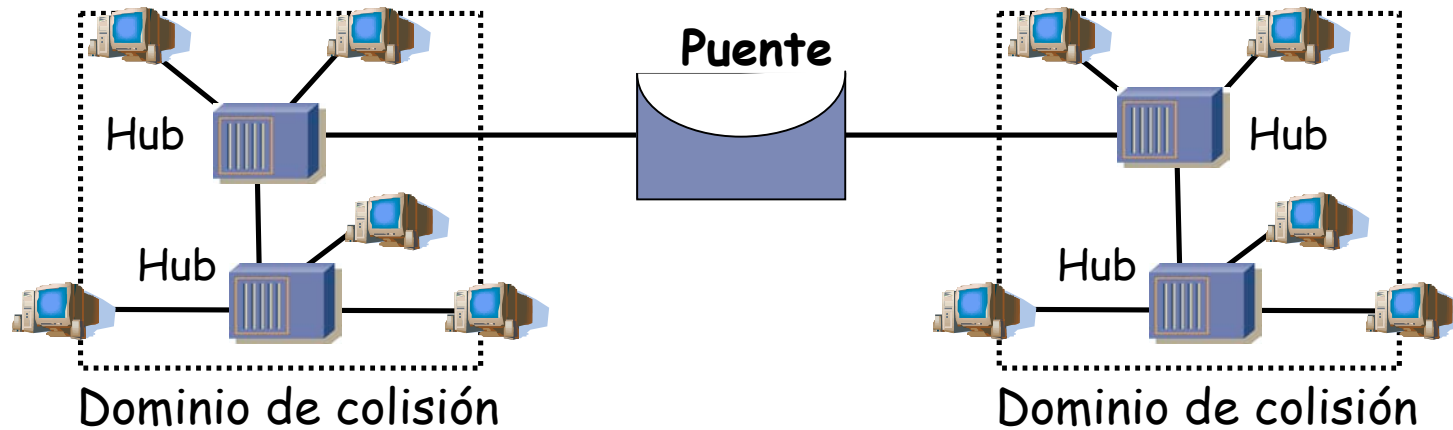
# Puentes: ¿Por qué?



- LANs alejadas geográficamente que se desean unir
- Exceso de carga en una LAN y se quiere dividir
- Confiabilidad: limitar efectos de nodos defectuosos
- Seguridad: limitar efectos modo promiscuo
- Problema: aumentan la latencia



# Puentes : ¿Cómo?

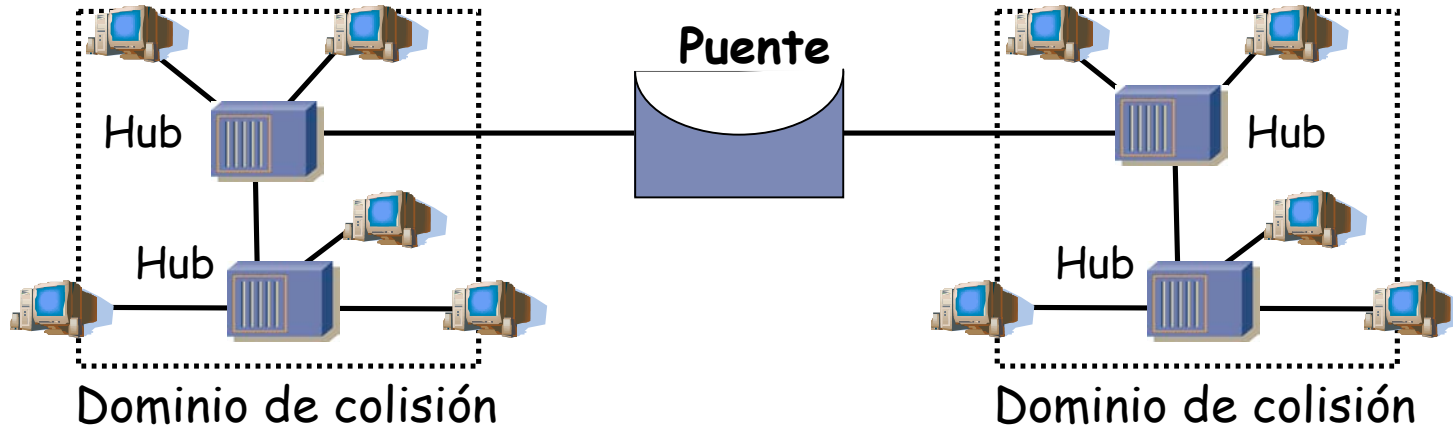


## Funcionamiento

- Conectado como una estación normal
- Modo promiscuo
- Reenvía las tramas dirigidas a estaciones conectadas a otro dominio
- No altera la trama (se mantienen las direcciones MAC origen y destino)



# Puentes



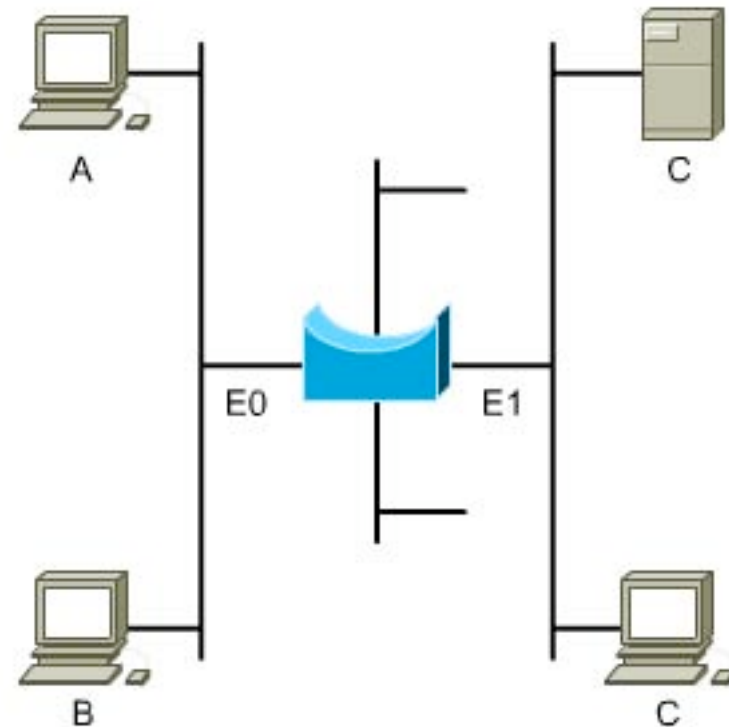
- Conmutador de paquetes
- Las colisiones no se propagan (dominios de colisión separados)
- Transparente para las estaciones
  - La LAN resultado se comporta lógicamente como un solo segmento
- Número entre dos estaciones no está limitado:
  - Permite agrandar la red más allá de los límites de Ethernet.
- Pueden unir redes de diferente tecnología 802



# Learning Bridge

Lista de direcciones MAC asociada a cada puerto (...)

If	MAC



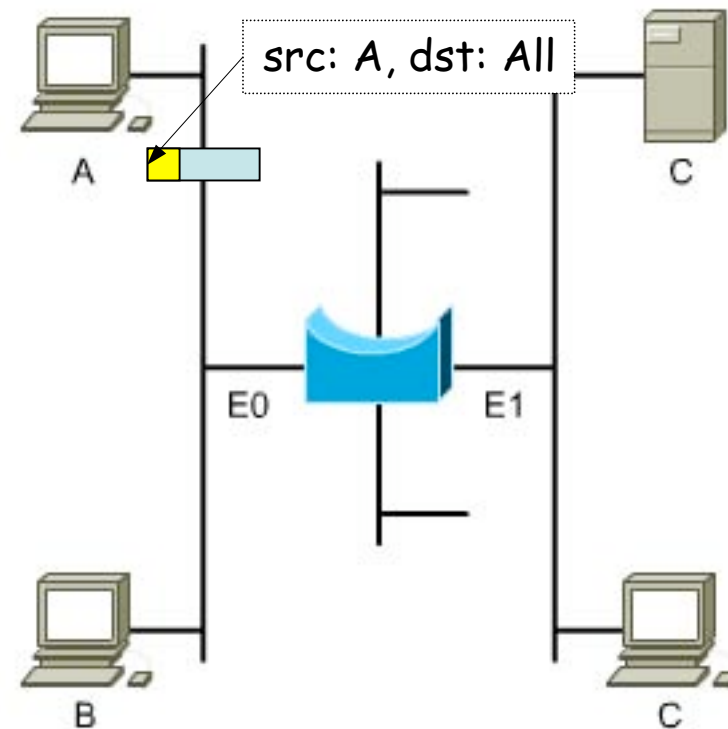


# Learning Bridge

## Cuando ve una trama por un puerto:

- Apunta MAC origen asociada al puerto si no estaba ya (...)

If	MAC



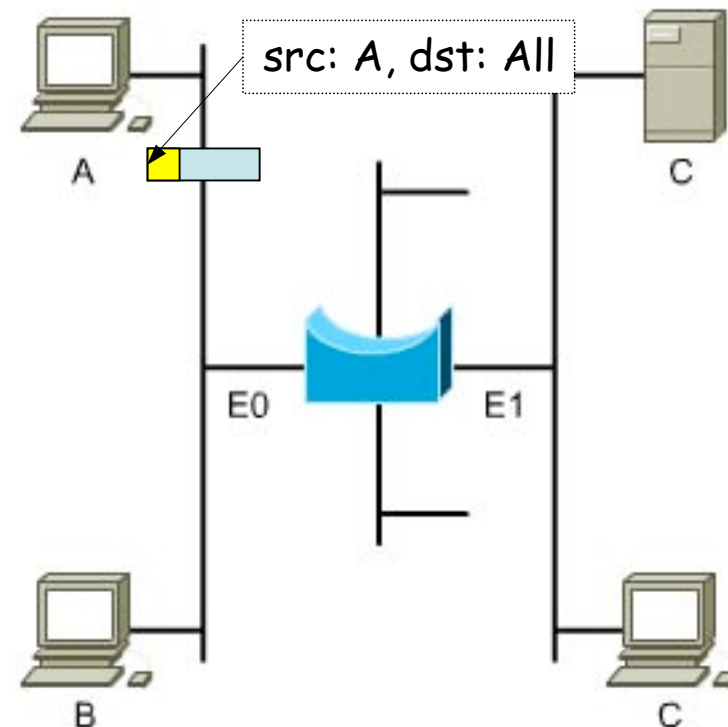


# Learning Bridge

## Cuando ve una trama por un puerto:

- Apunta MAC origen asociada al puerto si no estaba ya (...)

If	MAC
E0	A



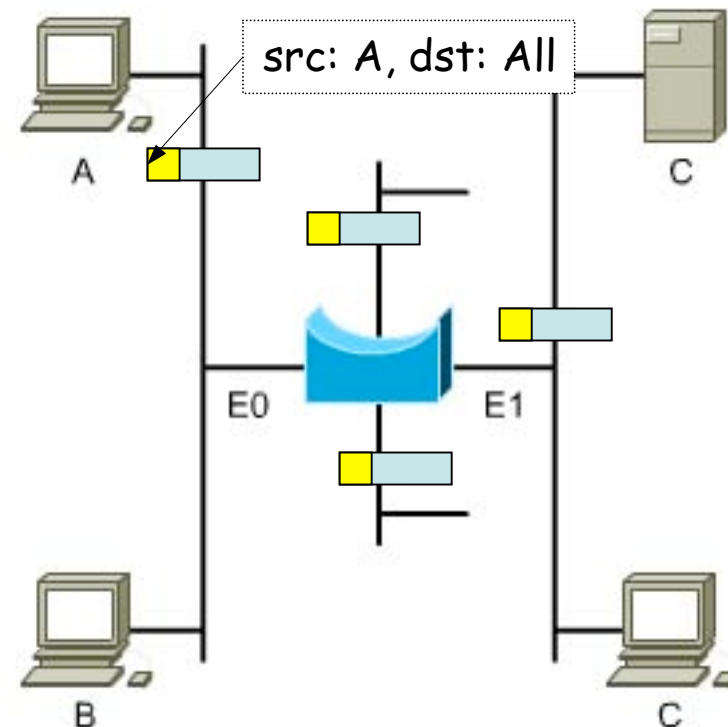


# Learning Bridge

## MAC destino:

- Broadcast: reenvía la trama por todos los puertos menos aquel por el que la recibió

If	MAC
E0	A



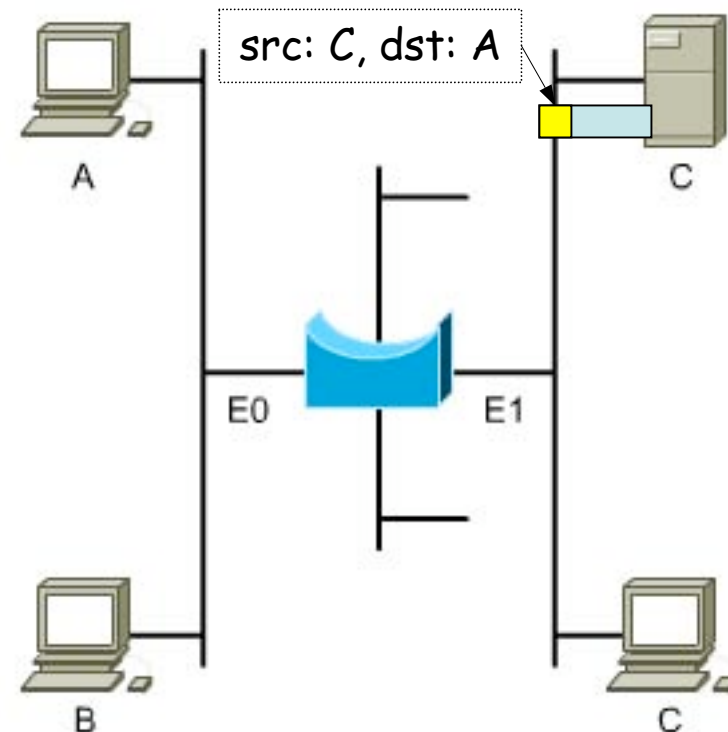


# Learning Bridge

## MAC destino:

- Buscar en las listas de los puertos (...):
  - o Si la encuentra en un puerto reenvía la trama solo por ese puerto (...)

If	MAC
E0	A





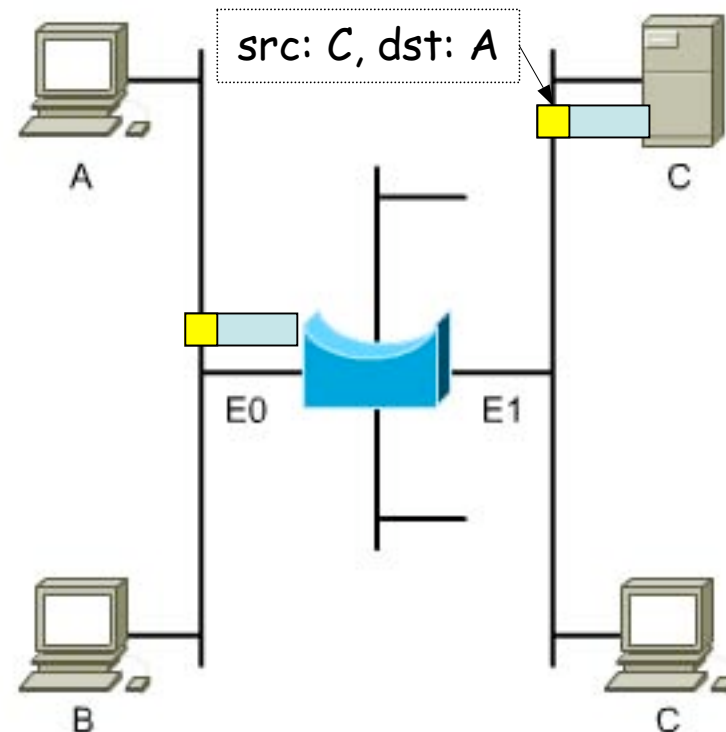


# Learning Bridge

## MAC destino:

- Buscar en las listas de los puertos (...):
  - o Si la encuentra en un puerto reenvía la trama solo por ese puerto (...)

If	MAC
E0	A
E1	C



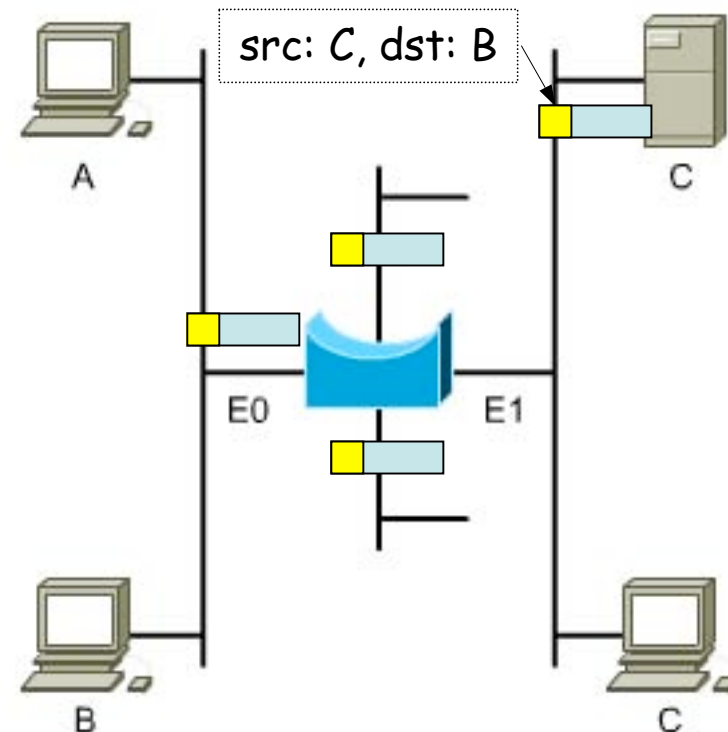


# Learning Bridge

## MAC destino:

- Buscar en las listas de los puertos (...):
  - o Si la encuentra en un puerto reenvía la trama solo por ese puerto (...)
  - o Si no la encuentra en ninguna lista reenvía la trama por todos los puertos menos por el que la leyó (inundación, flooding) (...)

If	MAC
E0	A
E1	C



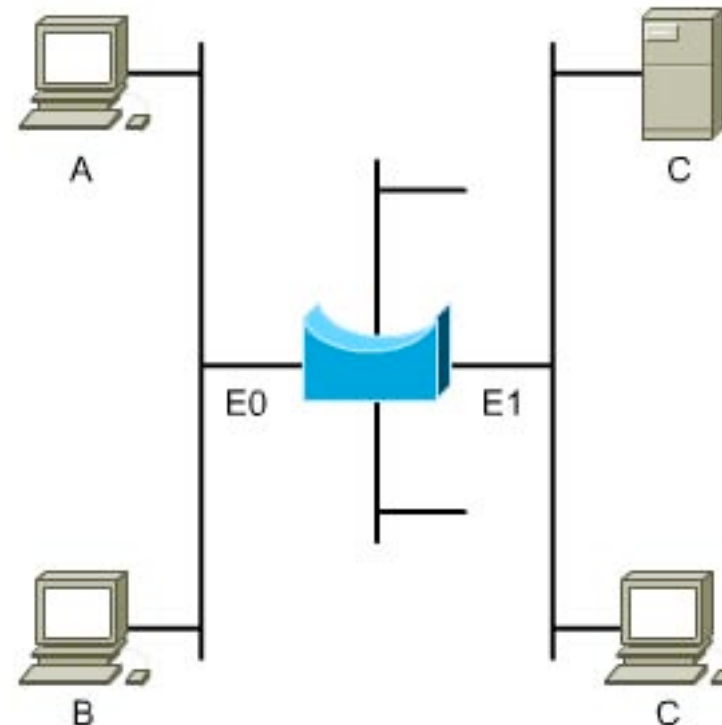


# Learning Bridge

## Aging:

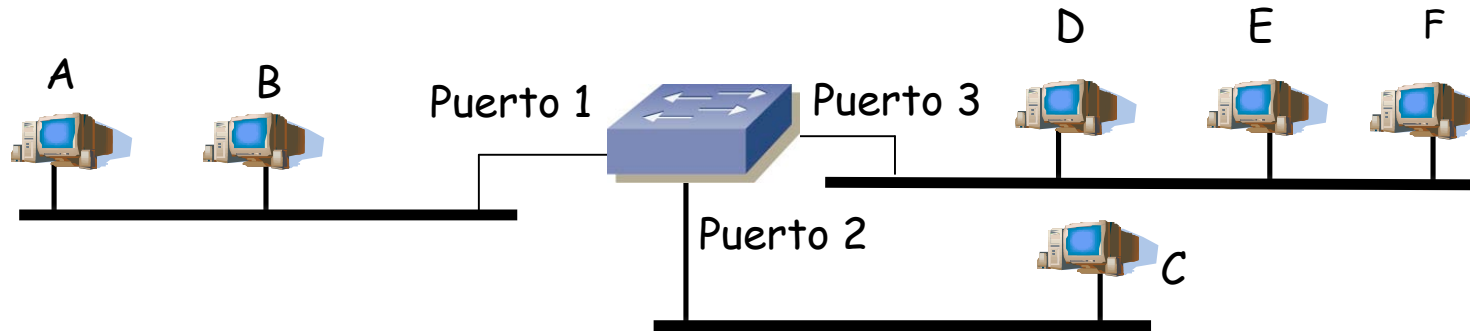
- Las entradas en la tabla “envejecen”
- Se renueva el contador al recibir una trama de esa estación
- Si caduca se elimina la entrada
- Cambio de tarjeta
- Reemplazamiento de host
- ¡ Memoria finita !

If	MAC
E0	A
E1	C





# Otro ejemplo

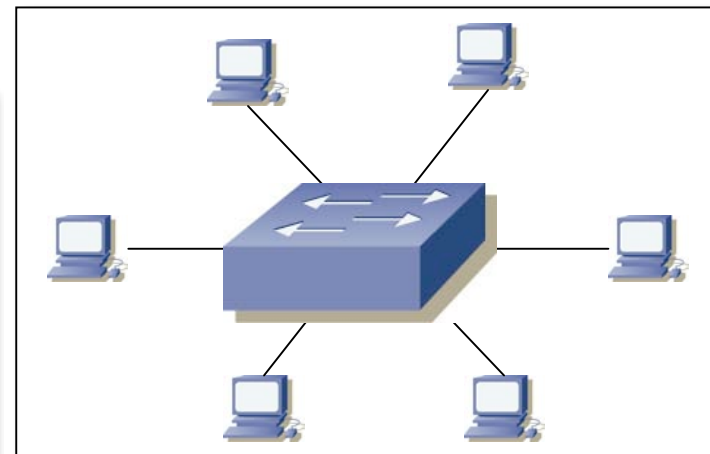
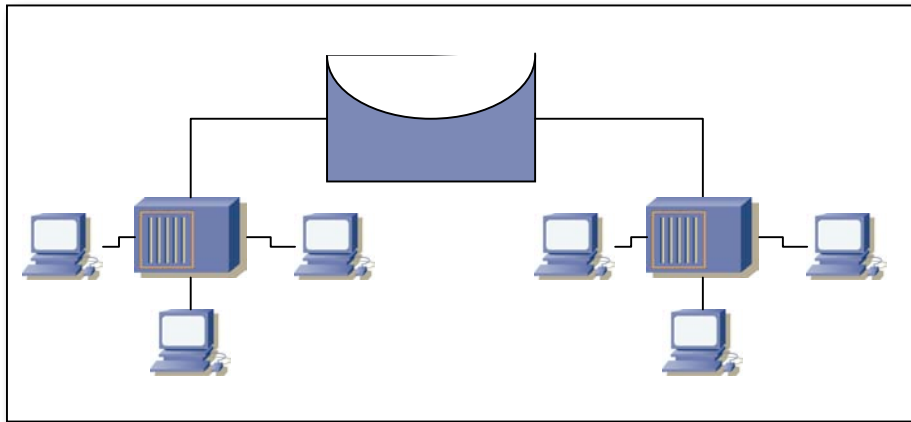


Suceso	Acción	Lista del puerto 1	Lista del puerto 2	Lista del puerto 3
Arranca el puente	-	-	-	-
A envía a B	Envía por puerto 2 y 3	A	-	-
B envía a A	-	A y B	-	-
F envía broadcast	Envía por puerto 1 y 2	A y B	-	F
E envía a B	Envía por puerto 1	A y B	-	E y F
E envía a D	Envía por puerto 1 y 2	A y B	-	E y F
C envía a F	Envía por puerto 3	A y B	C	E y F



# Puentes y conmutadores

- **Conmutador Ethernet** (*switch*, *switching-hub*) es básicamente un **puente**
- Los primeros puentes tenían pocos puertos (2)
- Un switch tiene uno por estación

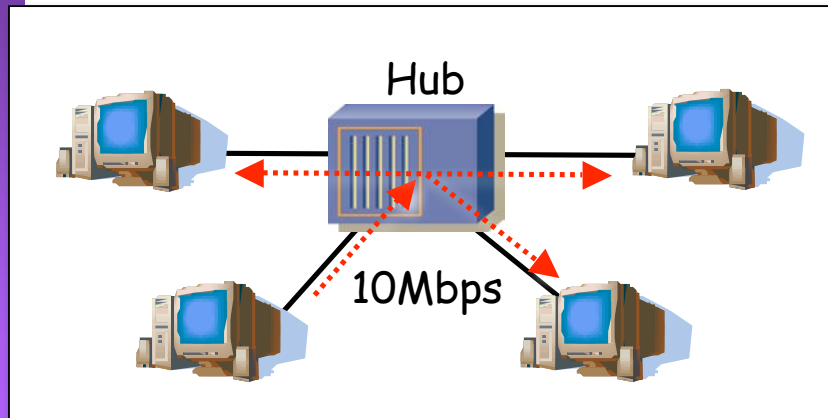


Switch

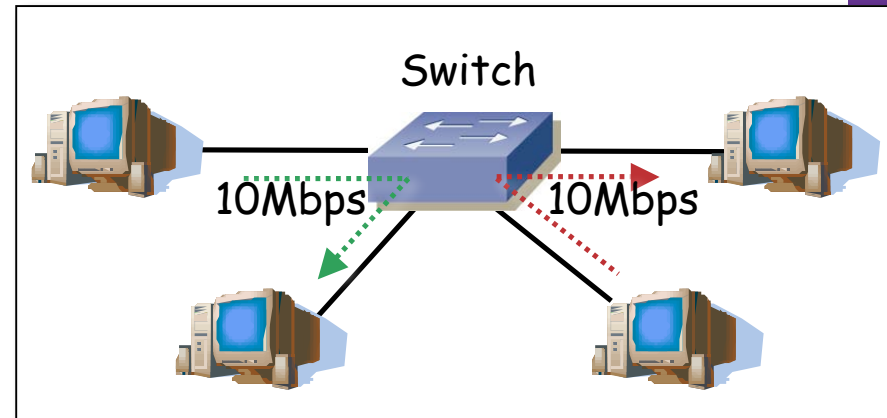


# Puentes y conmutadores

- Puede otorgar un camino conmutado entre cada par de estaciones para cada trama
- Cada pareja puede tener un canal dedicado con la capacidad total de la LAN
- Puede trabajar con múltiples tramas al mismo tiempo
- Los puertos pueden ser *Full-Duplex*



Medio compartido  
Capacidad total 10Mbps

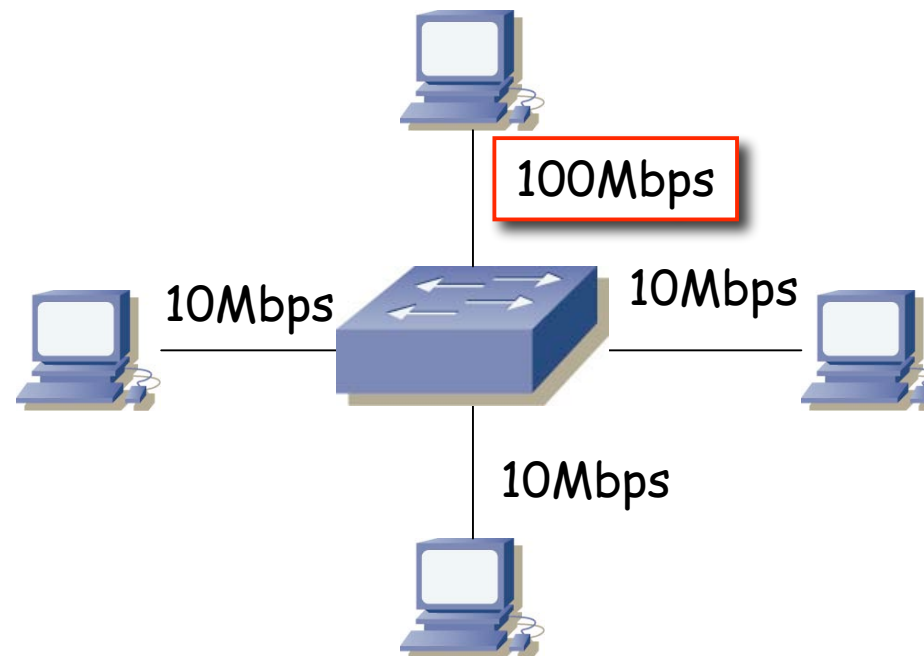


Medio conmutado  
Capacidad total  $N \times 10\text{Mbps}$



# Conmutación asimétrica

- Permite conmutación asimétrica (diferentes velocidades en los puertos)
- Esto es imposible con un hub





# ¿ Hub multi-velocidad ?

- Se venden *concentradores 10/100*
- Soportan conectarse tanto a redes/host a 10 como a 100 Mbps
- Y además para cada puerto
- Pero no tiene sentido un hub que mezcle velocidades !!
- No puede haber dos velocidades en un dominio de colisión
- (...)



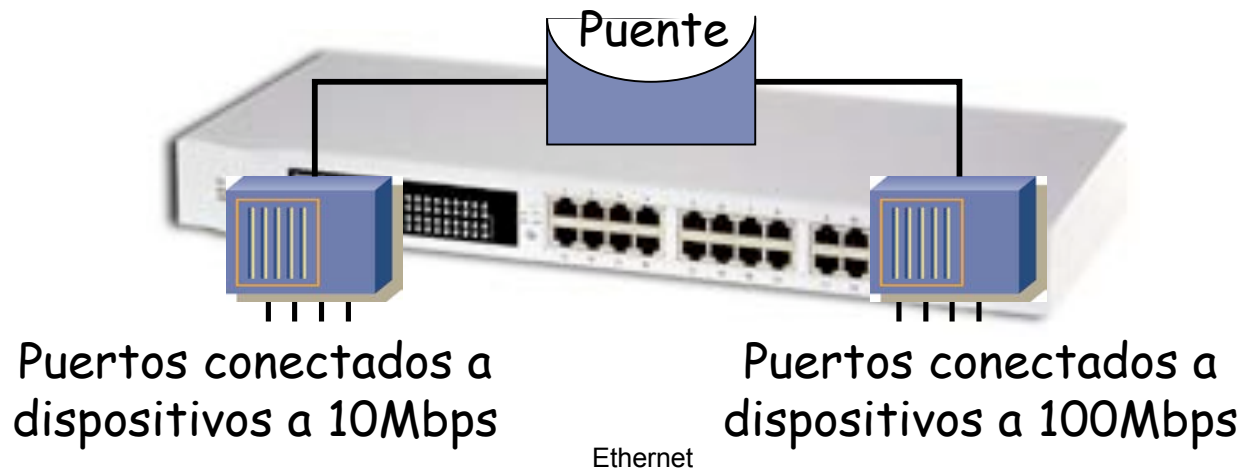
Ethernet





# ¿ Hub multi-velocidad ?

- Se venden *concentradores 10/100*
- Soportan conectarse tanto a redes/host a 10 como a 100 Mbps
- Y además para cada puerto
- Pero no tiene sentido un hub que mezcle velocidades !!
- No puede haber dos velocidades en un dominio de colisión
- Crean dos dominios de colisión separados por un pequeño puente/switch

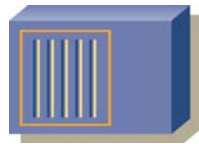




# Concentradores y conmutadores

## Hub

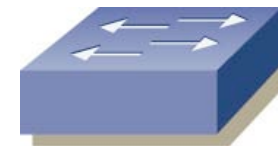
- Un dominio de broadcast
- Un dominio de colisión
- Una estación puede ver todo el tráfico
- Rapidez



Hub

## Switch

- Un dominio de broadcast
- Cada puerto un dominio de colisión
- Normalmente una estación verá su tráfico y broadcast/multicast
- *Store-and-Forward*



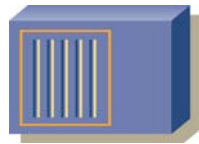
Switch



# Concentradores y conmutadores

## Hub

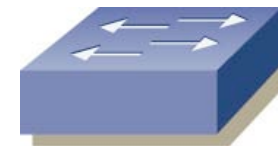
- Colisiones
- Límite de distancias
- Límite de número de hubs entre dos estaciones
- *Half-duplex*



Hub

## Switch

- Sin colisiones
- Distancias limitadas solo por la tecnología
- Sin límite de conmutadores entre dos estaciones
- Capacidad full-duplex



Switch



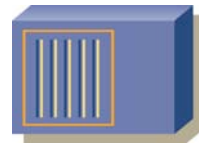
# Concentradores y conmutadores

## Hub

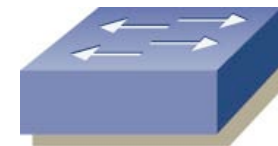
- Máximo 1024 estaciones

## Switch

- Límite de estaciones es por dominio de colisión
- Tabla de MACs de tamaño limitado



Hub



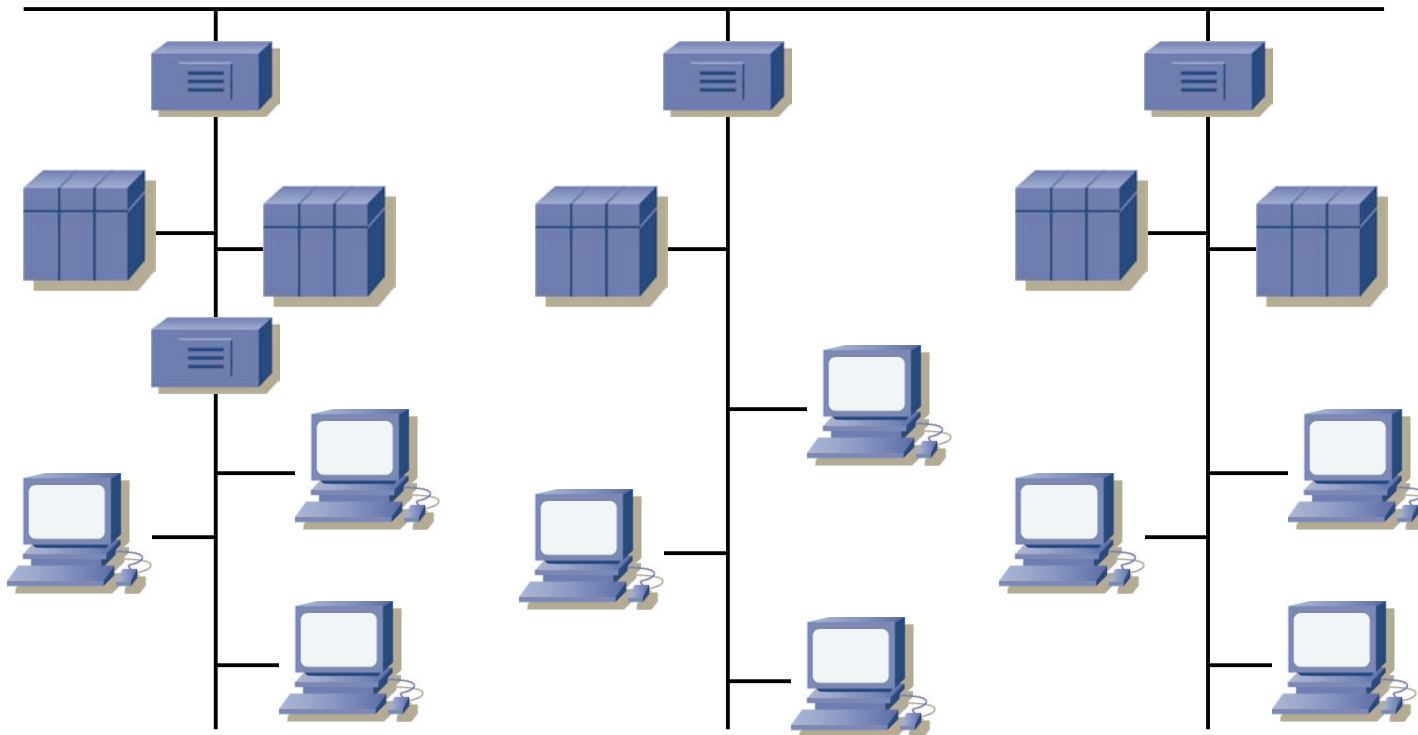
Switch



# Dominios de colisión y broadcast

## Antes

- 10Mbps en la LAN

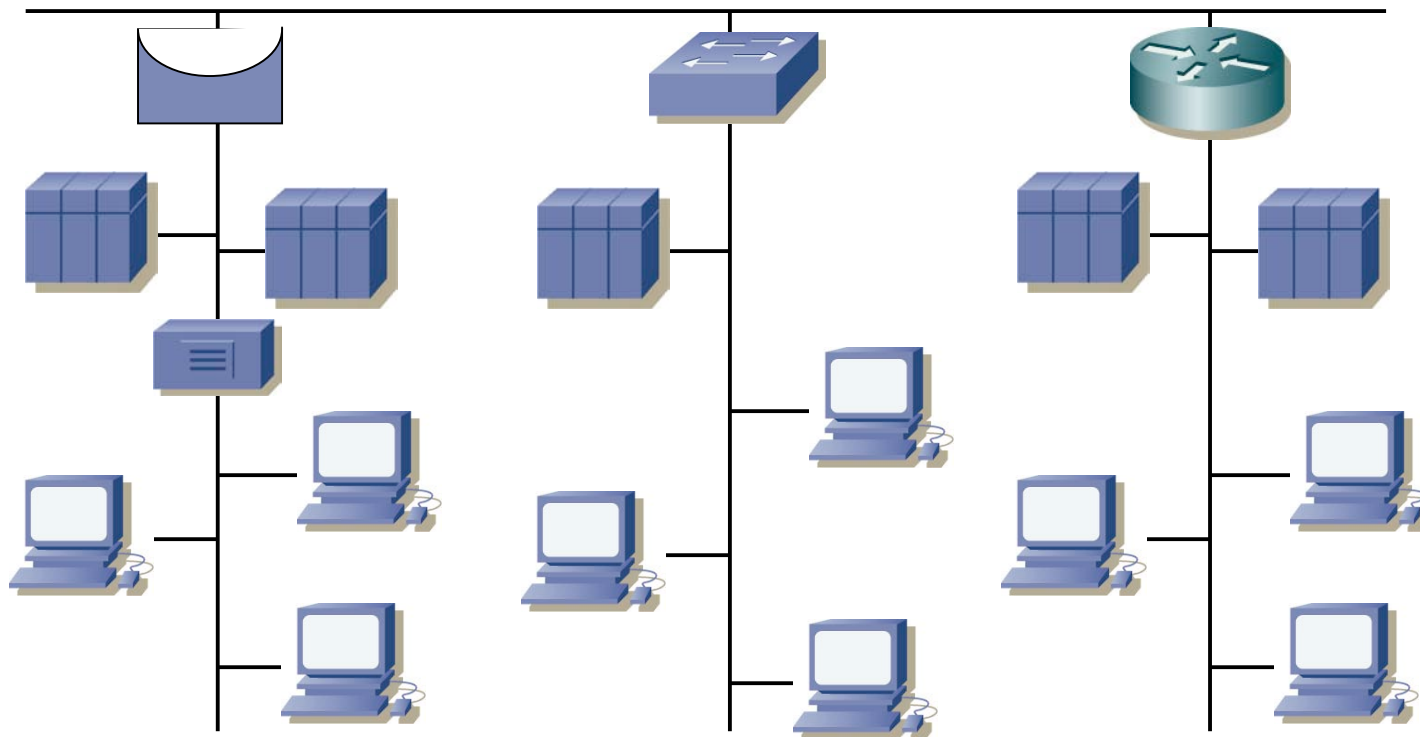




# Dominios de colisión y broadcast

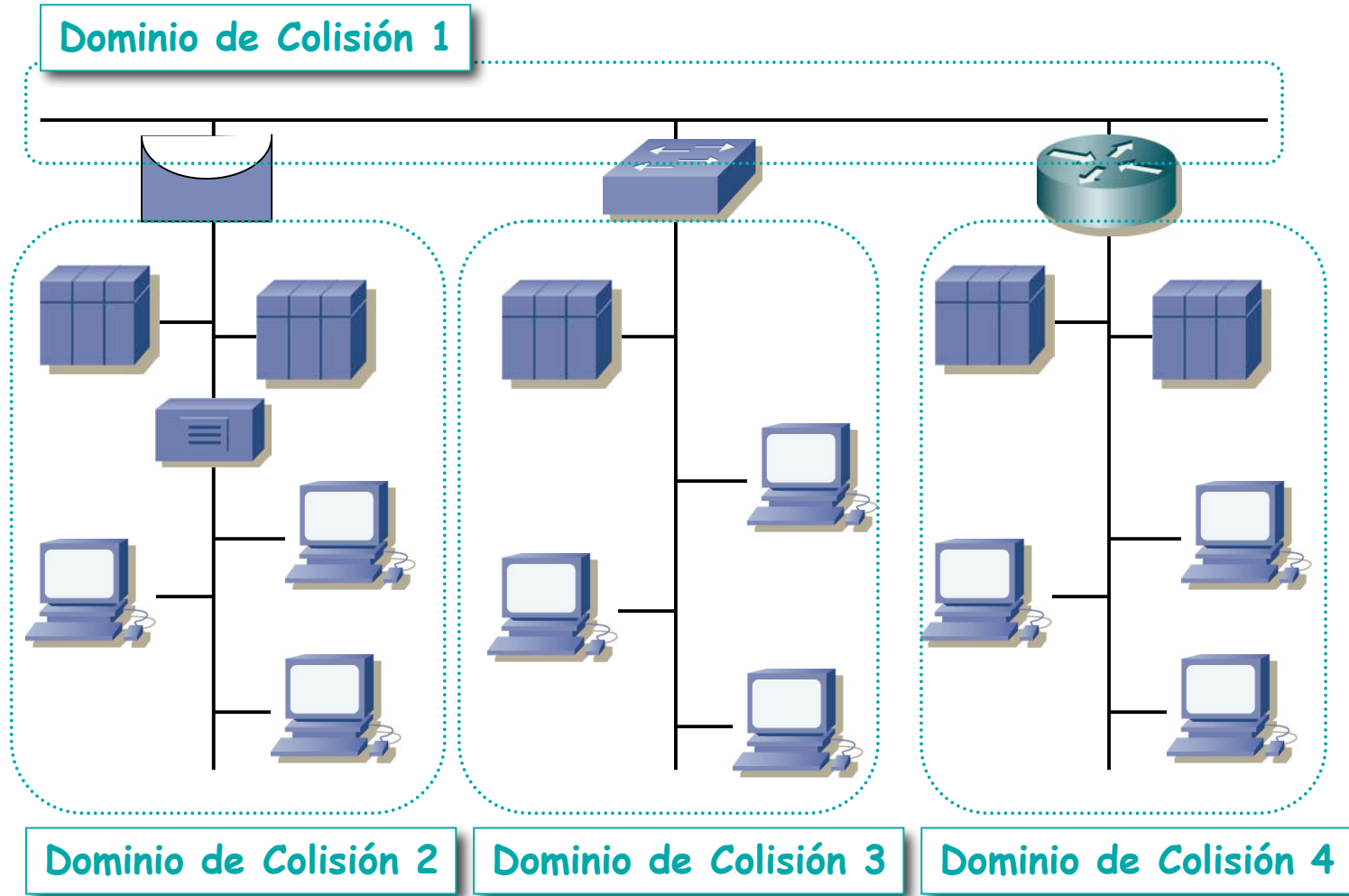
## Después

- 10Mbps por segmento (dominio de colisión)



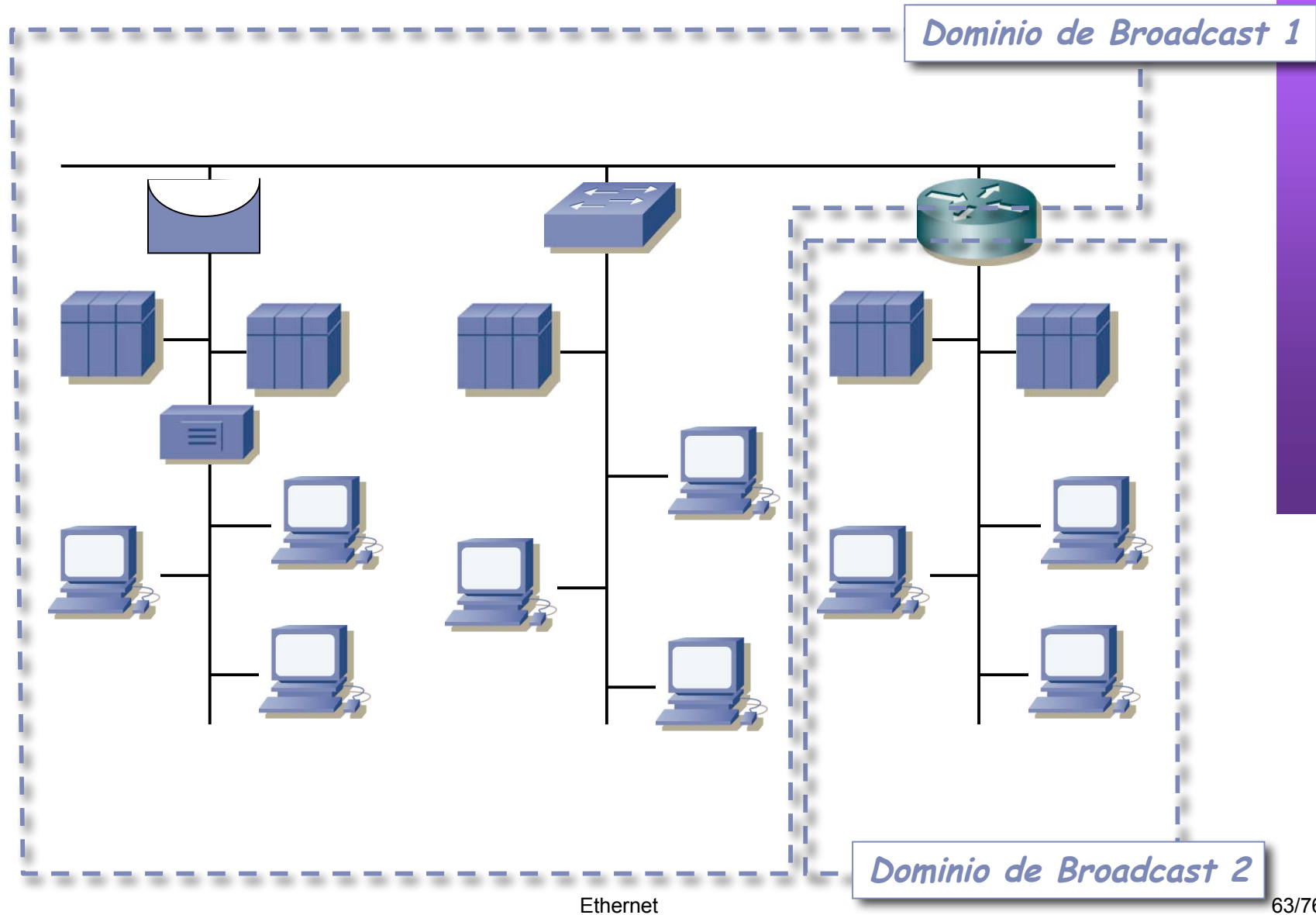


# Dominios de colisión y broadcast





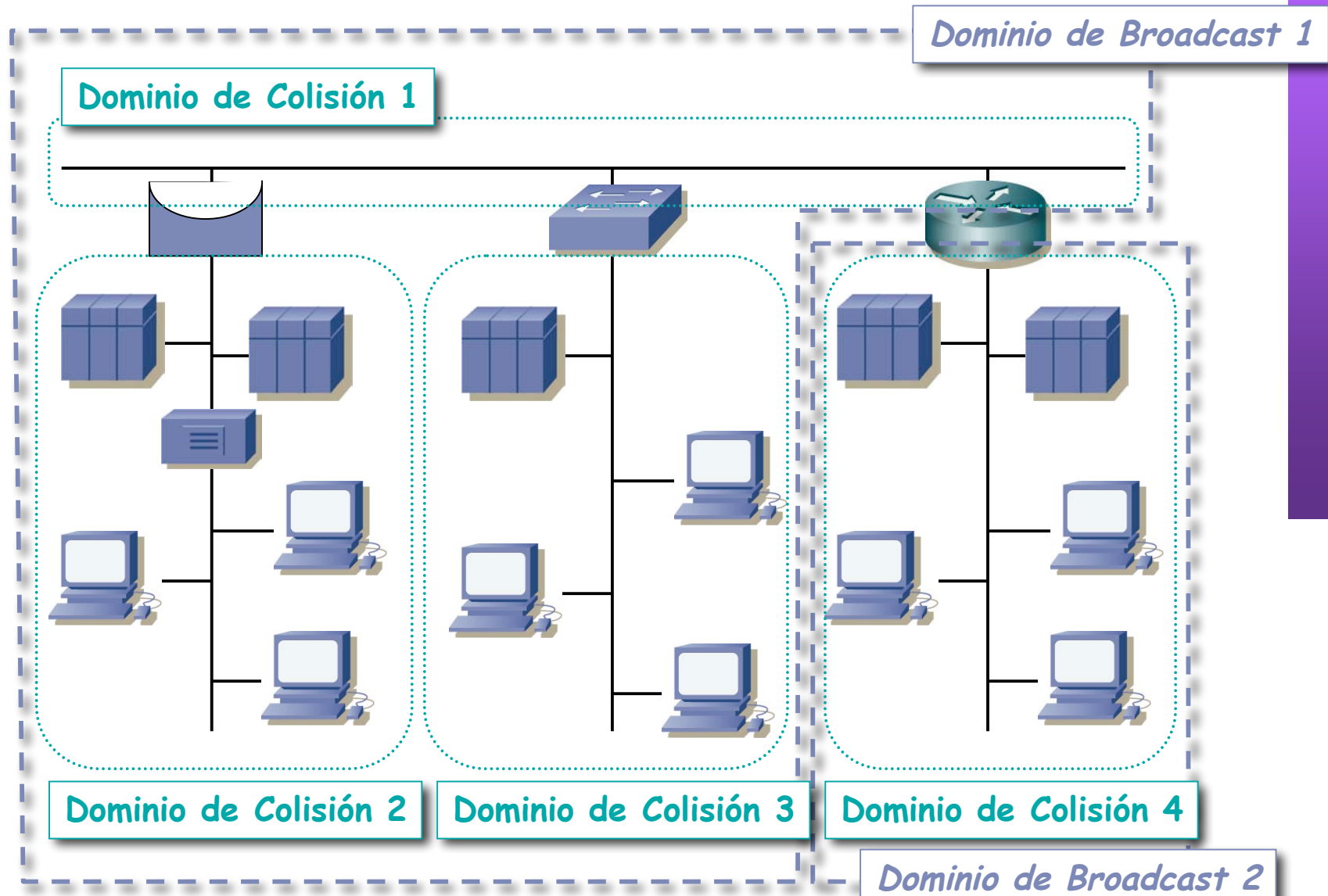
# Dominios de colisión y broadcast







# Dominios de colisión y broadcast



Ethernet



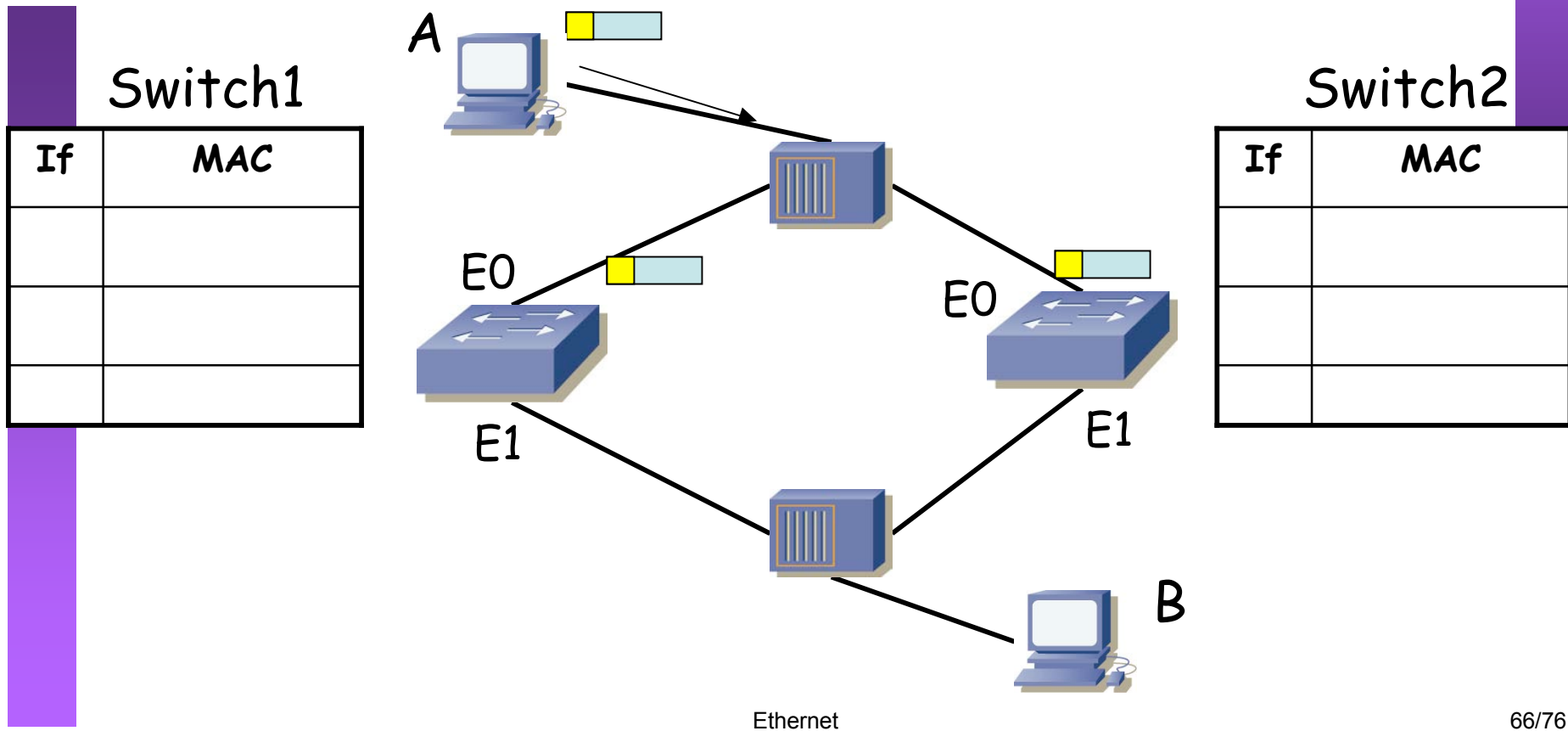
**LABORATORIO DE PROGRAMACIÓN DE REDES**  
*Área de Ingeniería Telemática*

**STP**



# Caminos redundantes

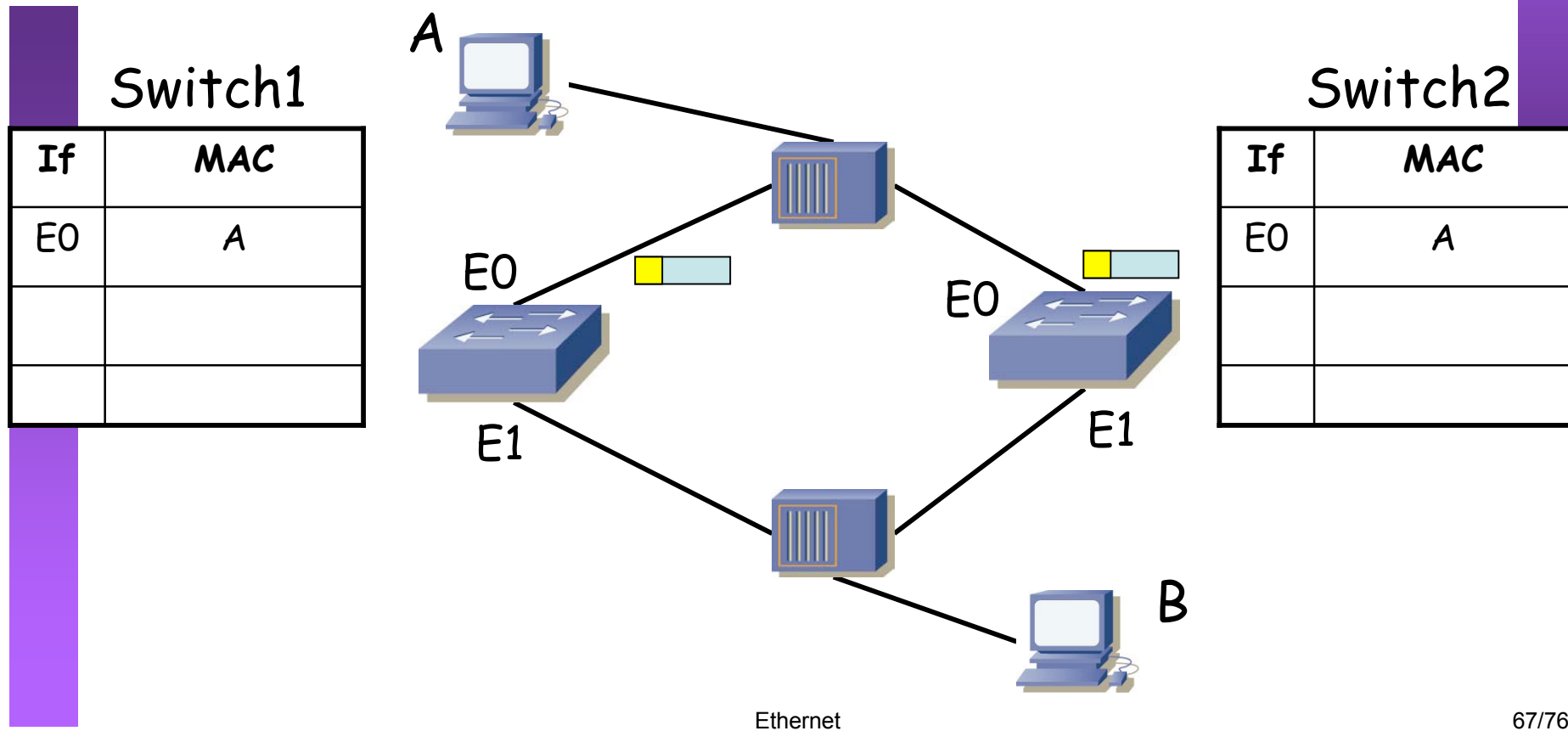
- El host A envía una trama al host B





# Caminos redundantes

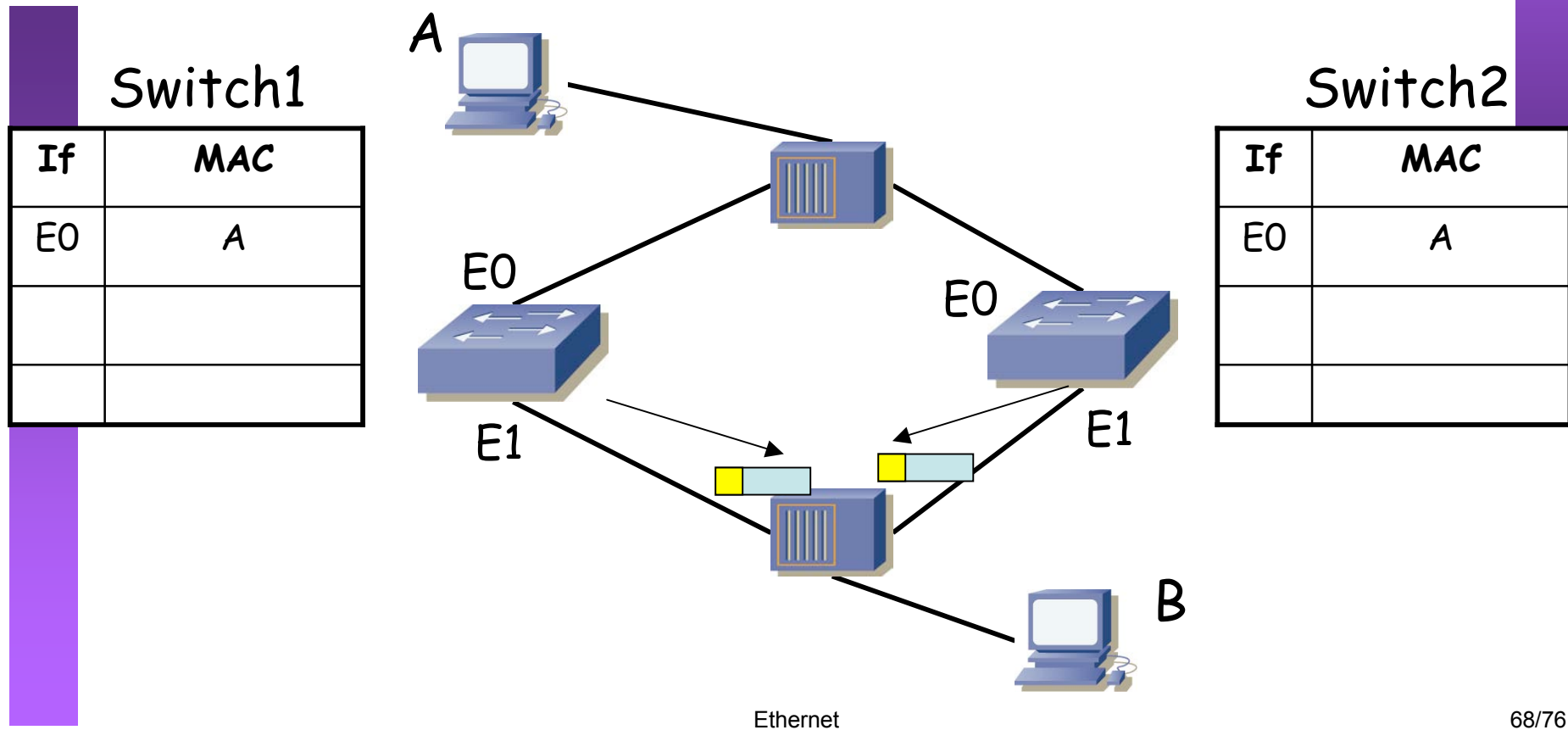
- Switch1 y Switch2 aprenden la localización del host A





# Caminos redundantes

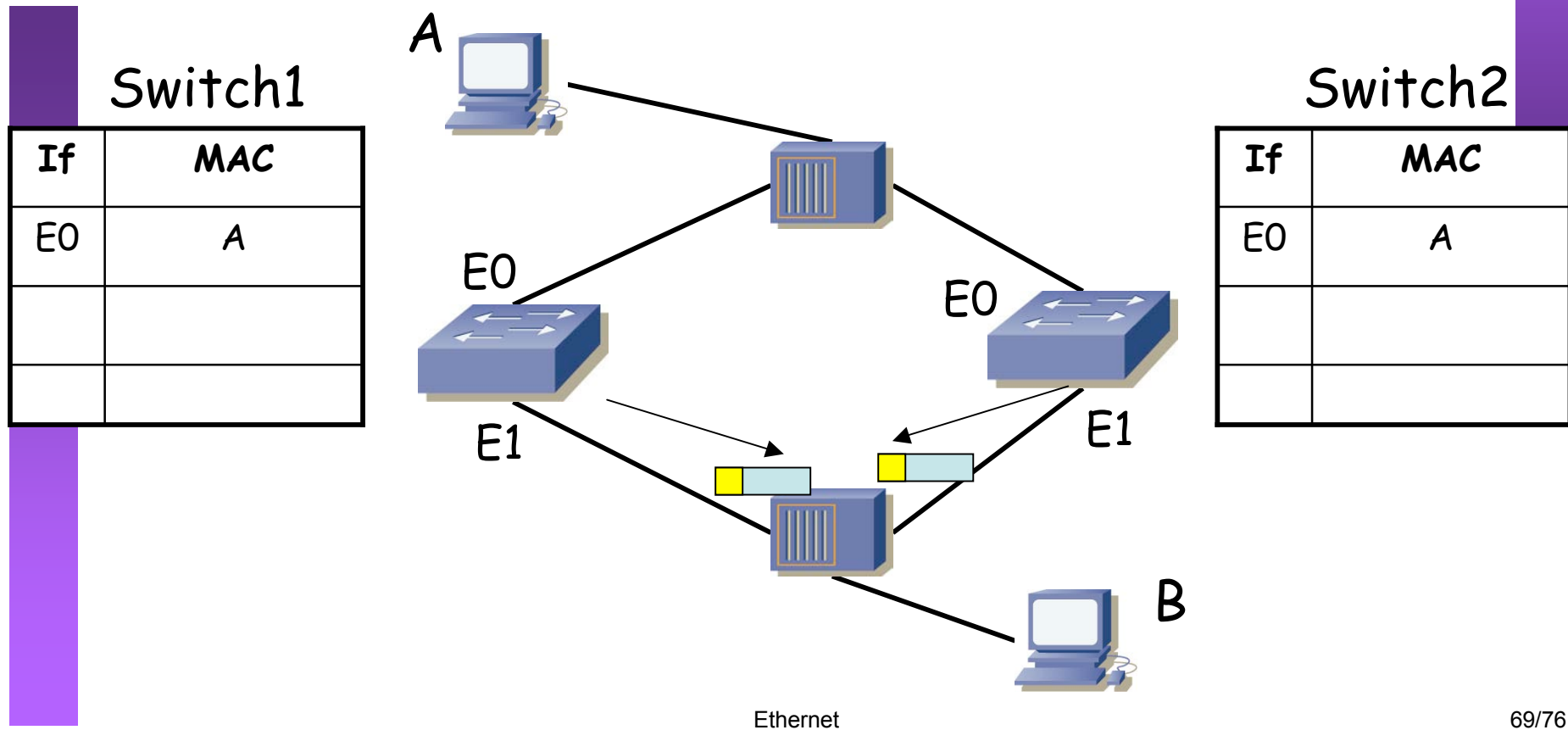
- Los conmutadores no conocen al destino
- Reenvían por todos los puertos menos por donde recibieron





# Caminos redundantes

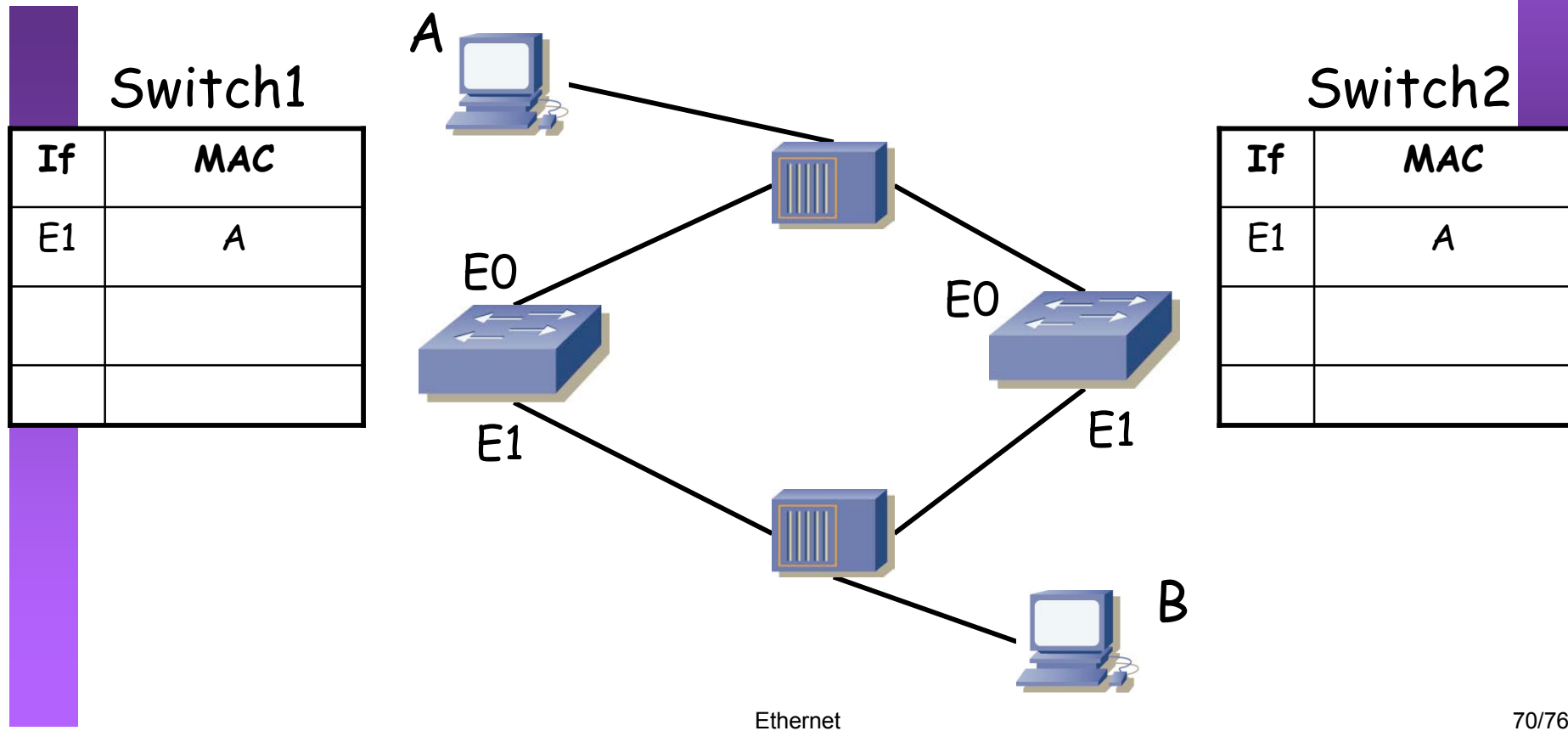
- Host B recibe la trama
- Switch2 recibe la trama que envió Switch1
- Switch1 recibe la trama que envió Switch2





# Caminos redundantes

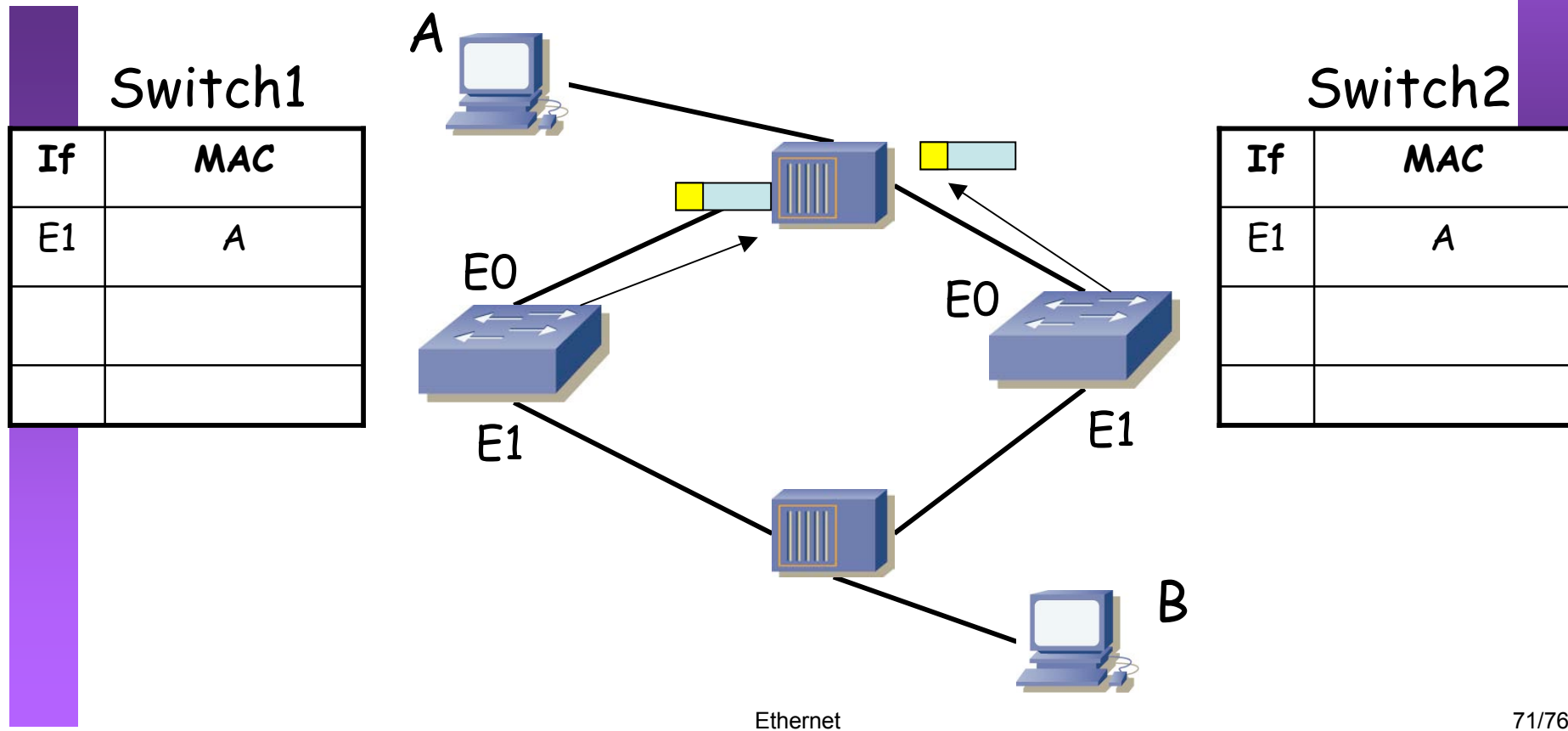
- Aprenden una nueva ubicación del host A





# Caminos redundantes

- Aprenden una nueva ubicación del host A
- Y reenvían por todos los puertos menos por donde recibieron la trama

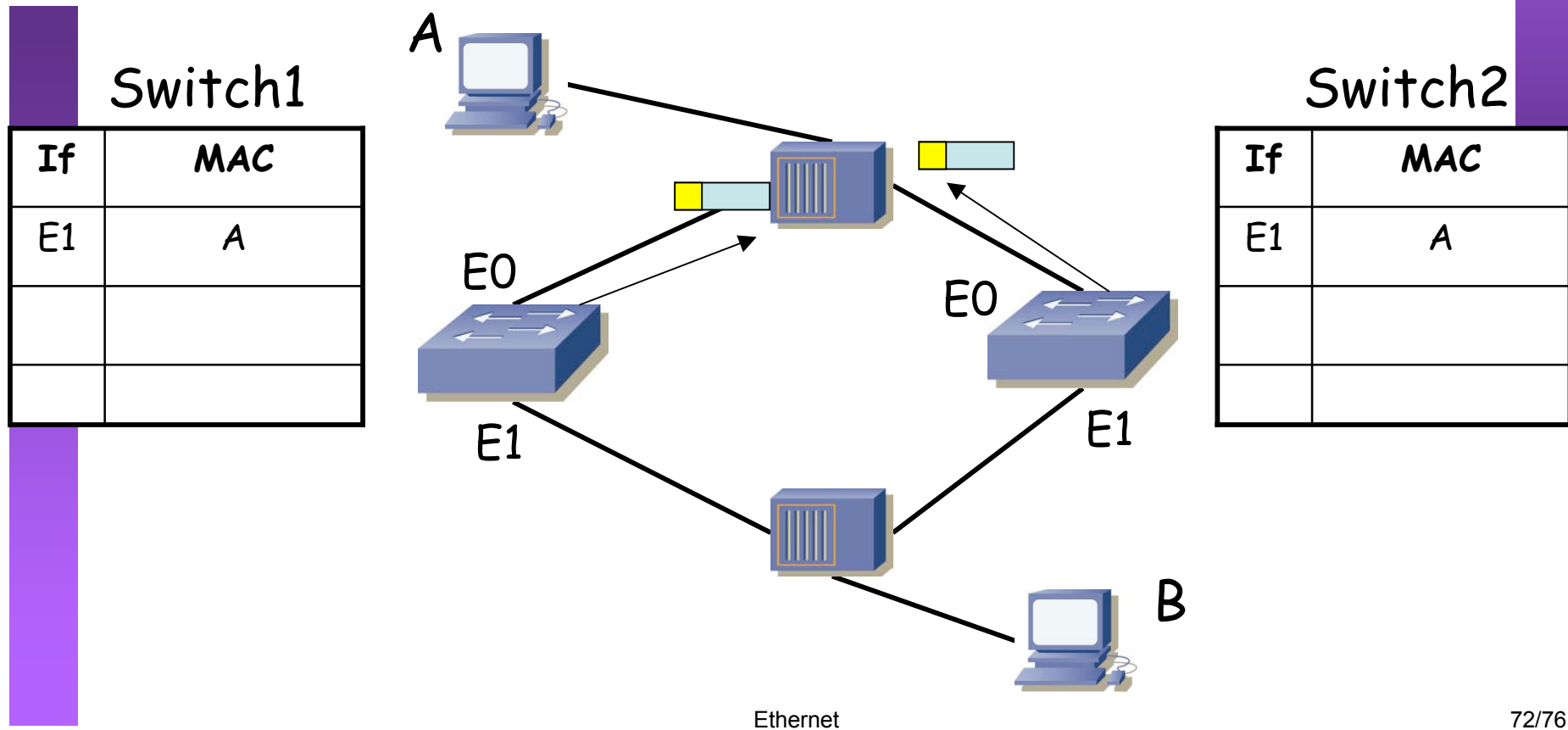






# Caminos redundantes

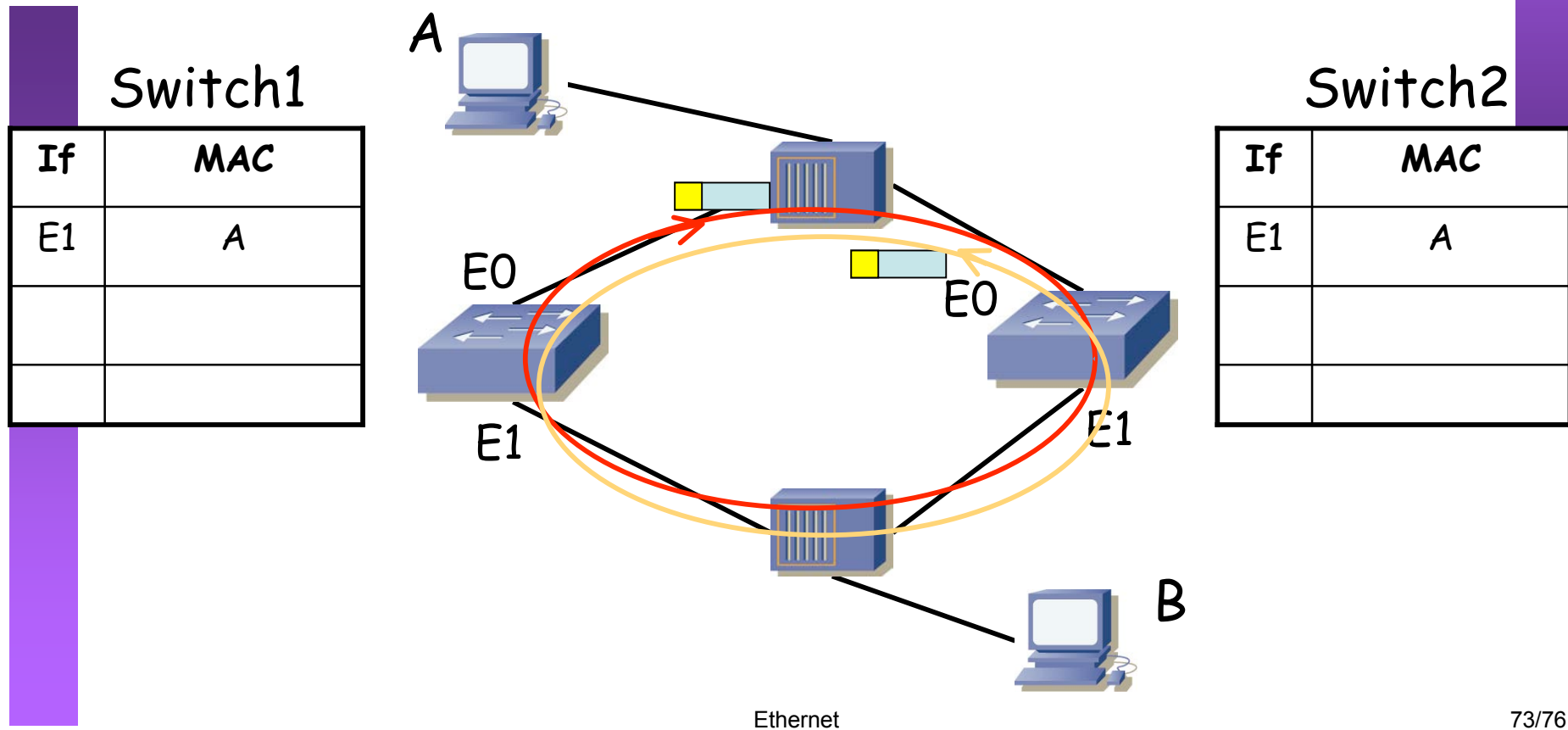
- Y se repite...
- No hay TTL en la trama Ethernet





# Caminos redundantes

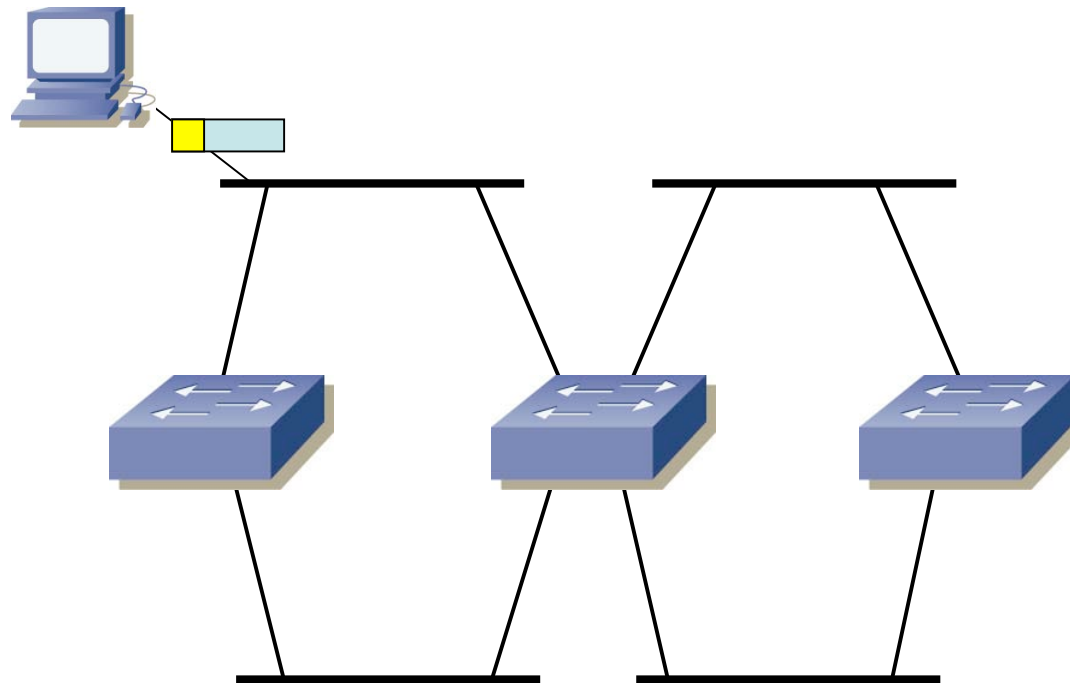
- Y si la trama es de broadcast sucede siempre
- Además todos los hosts la deberían procesar





# Ejemplo

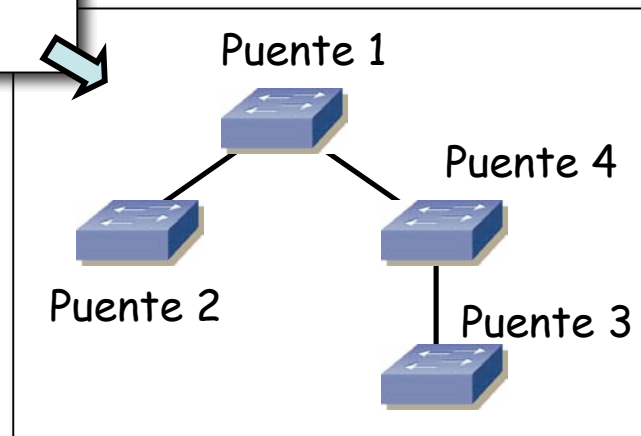
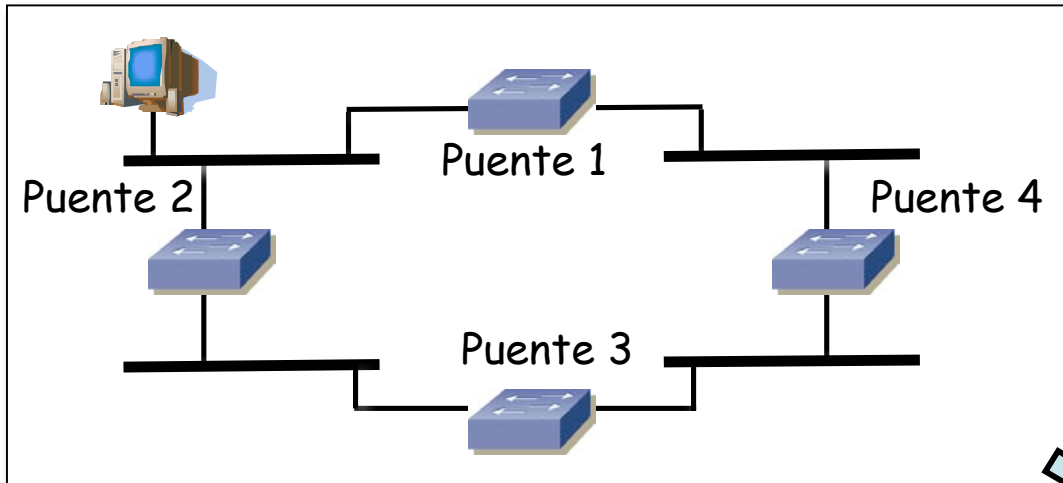
- PC envía trama de broadcast





# Spanning-Tree Protocol (STP)

- Calcula una topología libre de ciclos
- A partir del grafo de la topología crea un árbol
- Desactiva los enlaces sobrantes
- IEEE 802.1D



Radia Perlman (1983)



# Resumen

- Tecnología LAN más común
- 10/100Mbps típicos al escritorio
- Giga-Ethernet y 10-G fuera de la LAN
- Hubs (repetidores) extienden el dominio de colisión
- Switches (puentes) terminan el dominio de colisión
- Redundancia y STP