

# Bloque II

## Tecnologías avanzadas

Arquitecturas de redes de  
computadores  
2012-2013

**Rafael Sebastian**

Departamento de Informática

Escuela Técnica Superior de Ingenierías

Universitat de València

Parcialmente adaptado de Rogelio Montañana





# Índice de contenido

- Introducción y conceptos
- Protocolos y aplicaciones en Internet
- **Tecnologías avanzadas**
  - **Redes Backbone**
- Redes multimedia
- Seguridad en redes



# Material Multimedia

1. **SONET/SDH** [EN] [59:59m]
2. **Redes ATM** [ES] [8:26m]
3. **MPLS y MPLS-VPNs** [EN]
4. **Introduction MPLS** [EN] [CISCO] [1:51h]



Enlaces Wikipedia



Video YouTube (Aula Virtual)



# Objetivos sección

- ✓ Describir los principios de funcionamiento de una red de área amplia (WAN)
- ✓ Tecnologías avanzadas para redes de operadores de servicio
- ✓ Tecnología basada en fibra óptica
- ✓ Evolución de ATM a POS
- ✓ Etiquetas MPLS y ventajas de MPLS



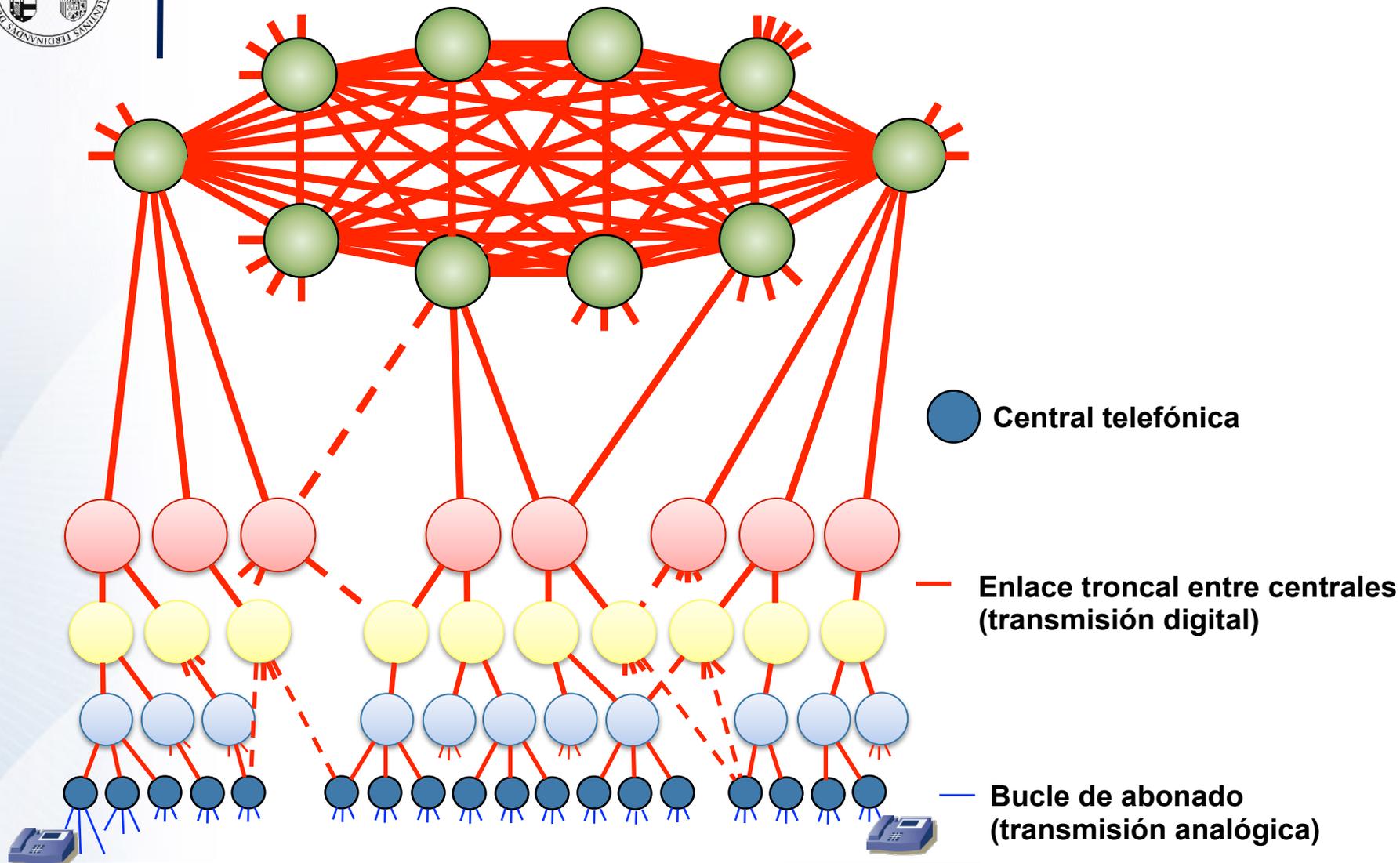
# Tecnologías avanzadas

## Redes Backbone

- **SONET/SDH**
- POS
- MPLS

# Estructura jerárquica de la red telefónica

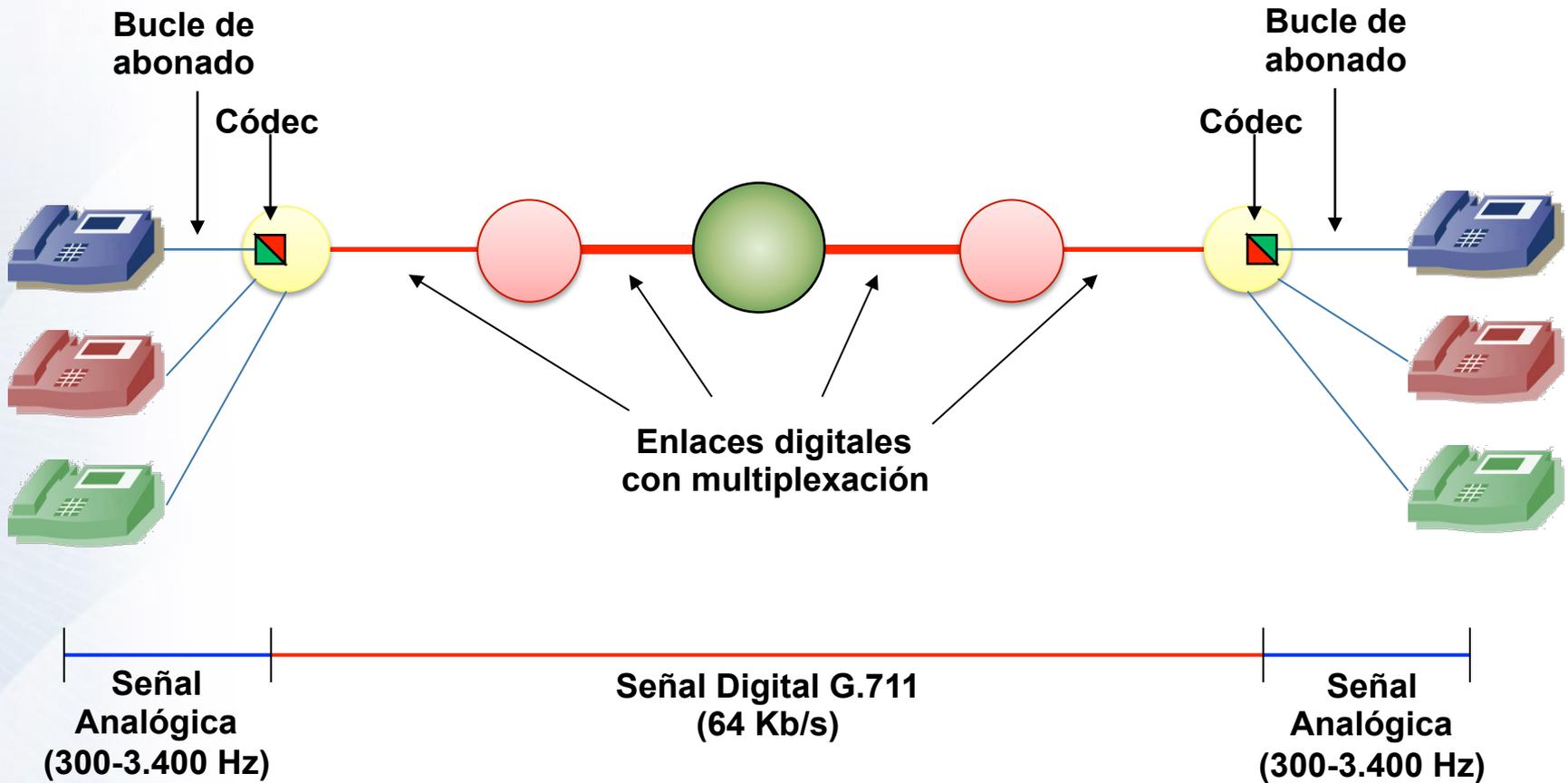
 <http://es.wikipedia.org/wiki/Teléfono>





# Comunicación entre teléfonos analógicos

TECNOLOGÍAS – SONET/SDH



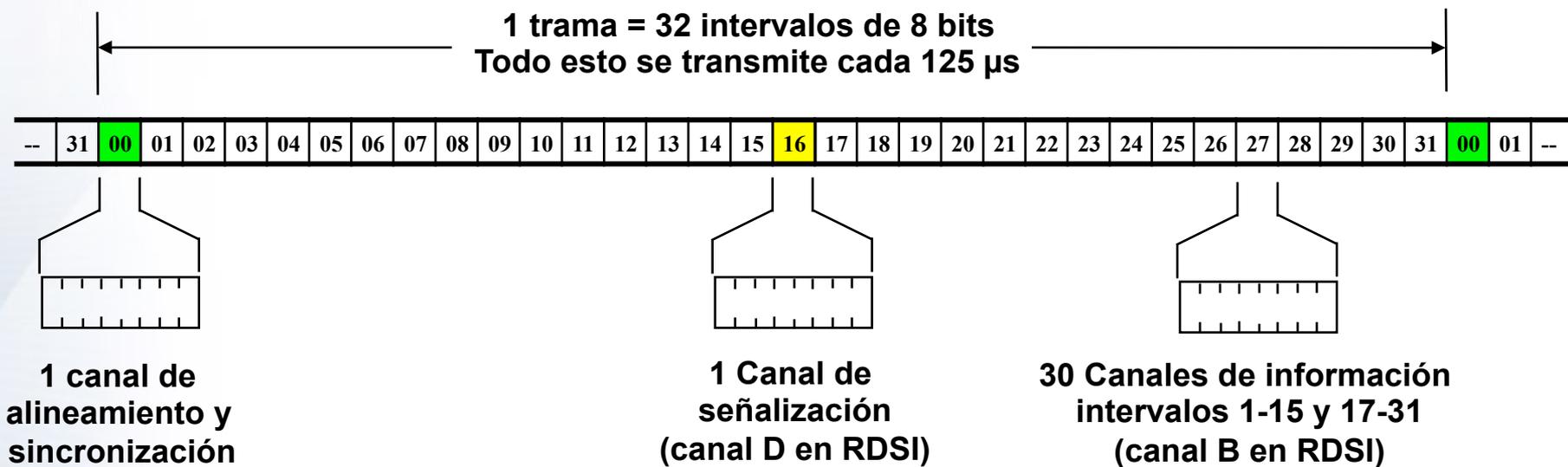


# Multiplexación TDM

- En la red telefónica troncal los enlaces llevan bits, no señales analógicas. Cada conversación ocupa 64 Kb/s
- Para aprovechar mejor la red las conversaciones se transmiten agrupadas (multiplexadas)
- Si enviamos 30 conversaciones por un canal dedicamos 1/30 del tiempo a cada una. El tiempo está dividido en 30 intervalos (slots) y dedicamos un intervalo a cada conversación. Por eso llamamos a esta técnica multiplexación TDM (Time Division Multiplexing)
- Cada conversación genera un byte cada 125  $\mu$ s. Al multiplexar 30 conversaciones enviamos 30 bytes cada 125  $\mu$ s, que equivalen a  $64 \text{ Kb/s} * 30 = 1920 \text{ Kb/s}$
- En realidad para multiplexar 30 conversaciones es preciso enviar 32 bytes cada 125  $\mu$ s,  $64 \text{ Kb/s} * 32 = 2048 \text{ Kb/s}$



# Formato de la trama E1 (30 conversaciones)



Cada canal ocupa 8 bits en la trama (64 Kb/s)



# Jerarquía PDH

- La multiplexación TDM se hace según valores fijos. El primer sistema estándar se desarrolló en los años 70 y se denomina Jerarquía PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). Plesio=casi ya que diferentes partes de la red están 'casi' sincronizadas
- En Europa se utiliza la PDH del sistema 'E' (G.732) que utiliza como agrupación básica la señal E1, contiene 30 canales y transmite 2048 Kb/s
- En Norteamérica y Japón se utiliza el sistema 'T' (G.733) que tiene su base en la señal T1 con 24 canales y 1544 Kb/s



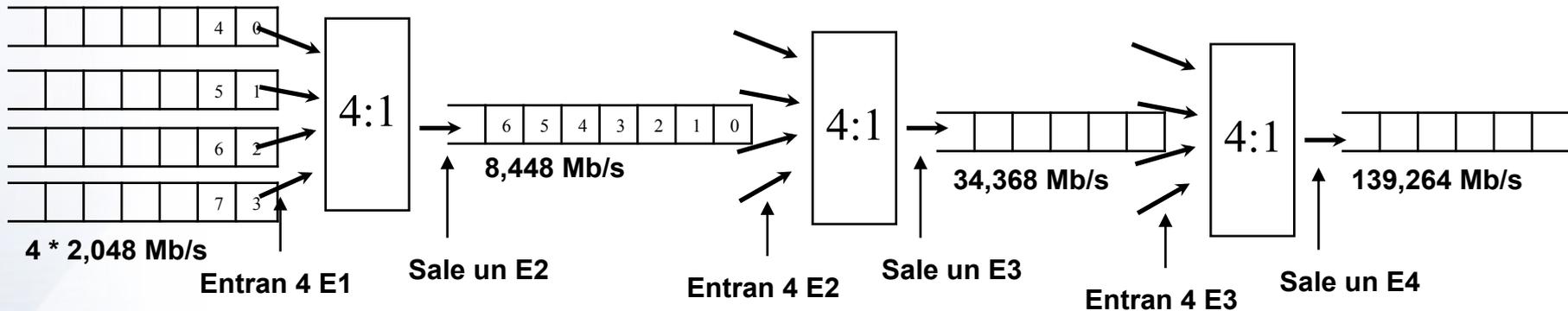
# Niveles en la jerarquía PDH (caudales en Mb/s)

Nivel	Canales	Nombre	EEUU, Canadá	Japón	ITU-T
0	1	E0	<b>0,064</b>	<b>0,064</b>	<b>0,064</b>
1	24	T1 o DS1	<b>1,544</b>	<b>1,544</b>	
1	30	E1			<b>2,048</b>
2	96	T2 o DS2	6,312	6,312	
2	120	E2			8,448
3	480	E3		32,064	<b>34,368</b>
3	672	T3 o DS3	<b>44,736</b>		
3	1440	J3		97,728	
4	1920	E4			139,264
4	4032	T4 o DS4	274,176		

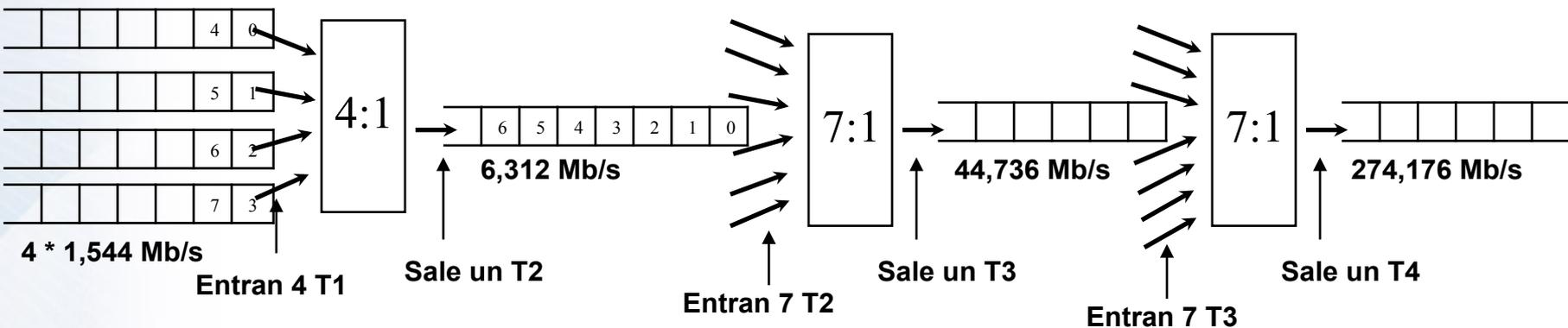
Los valores en negrita son los utilizados habitualmente para transmisión de datos



# Multiplexación PDH, sistema 'E' (G.732)



# Multiplexación PDH, sistema 'T' (G.733)





# Los cinco problemas de la jerarquía PDH

1. Incompatibilidad intercontinental
2. No pensada para fibra óptica (diseñada en los años 70)
3. Capacidades máximas bajas: Japón 98 Mb/s, Norteamérica 274 Mb/s, Resto mundo 139 Mb/s
4. Carece de herramientas de gestión y de mecanismos de tolerancia a fallos
5. Los relojes no están perfectamente sincronizados. Se utilizan bits de relleno para ajustarlos. Esto impide el multiplexado/desmultiplexado entre niveles jerárquicos no consecutivos



# Jerarquía digital SONET/SDH

- **SONET** (Synchronous Optical NETwork) es una jerarquía digital TDM desarrollada por los laboratorios Bell y estandarizada por ANSI en 1984 (T1.105). Se usa en EEUU y Canadá
- La base de SONET es la señal STS-1 u OC-1 que tiene un caudal de **51,84 Mb/s**. Las demás señales de la jerarquía (STS-n u OC-n) tienen caudales que son múltiplos ( $n \cdot 51,84$  Mb/s)
- **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) es un estándar aprobado en 1989 por la ITU-T (G.707). Es muy similar a SONET, la principal diferencia es que su señal base, STM-1, tiene un caudal de **155,52 Mb/s**, exactamente el triple que SONET
- Los caudales estandarizados de SONET siempre son múltiplos 3x de STS-1 para que sean compatibles con SDH
- Los estándares SONET/SDH se desarrollaron a la vez que ATM con el objetivo de que se complementaran. SONET/SDH abarca el nivel físico y ATM los niveles de enlace, de red y de transporte



# Jerarquía SONET/SDH

## Velocidades estandarizadas

Denominación SONET	Denominación SDH	Caudal total (Mb/s)	Caudal útil (Mb/s)
STS-3 / OC-3	STM-1	155,520	150,336
STS-12 / OC-12	STM-4	622,080	601,344
STS-48 / OC-48	STM-16	2488,320	2405,376
STS-192 / OC-192	STM-64	9953,280	9621,504
STS-768/OC-768	STM-256	39813,12	38486,016

STS: Synchronous Transfer Signal (interfaz eléctrico)

OC: Optical Carrier (interfaz óptico)

STM: Synchronous Transfer Module (interfaz óptico o eléctrico)

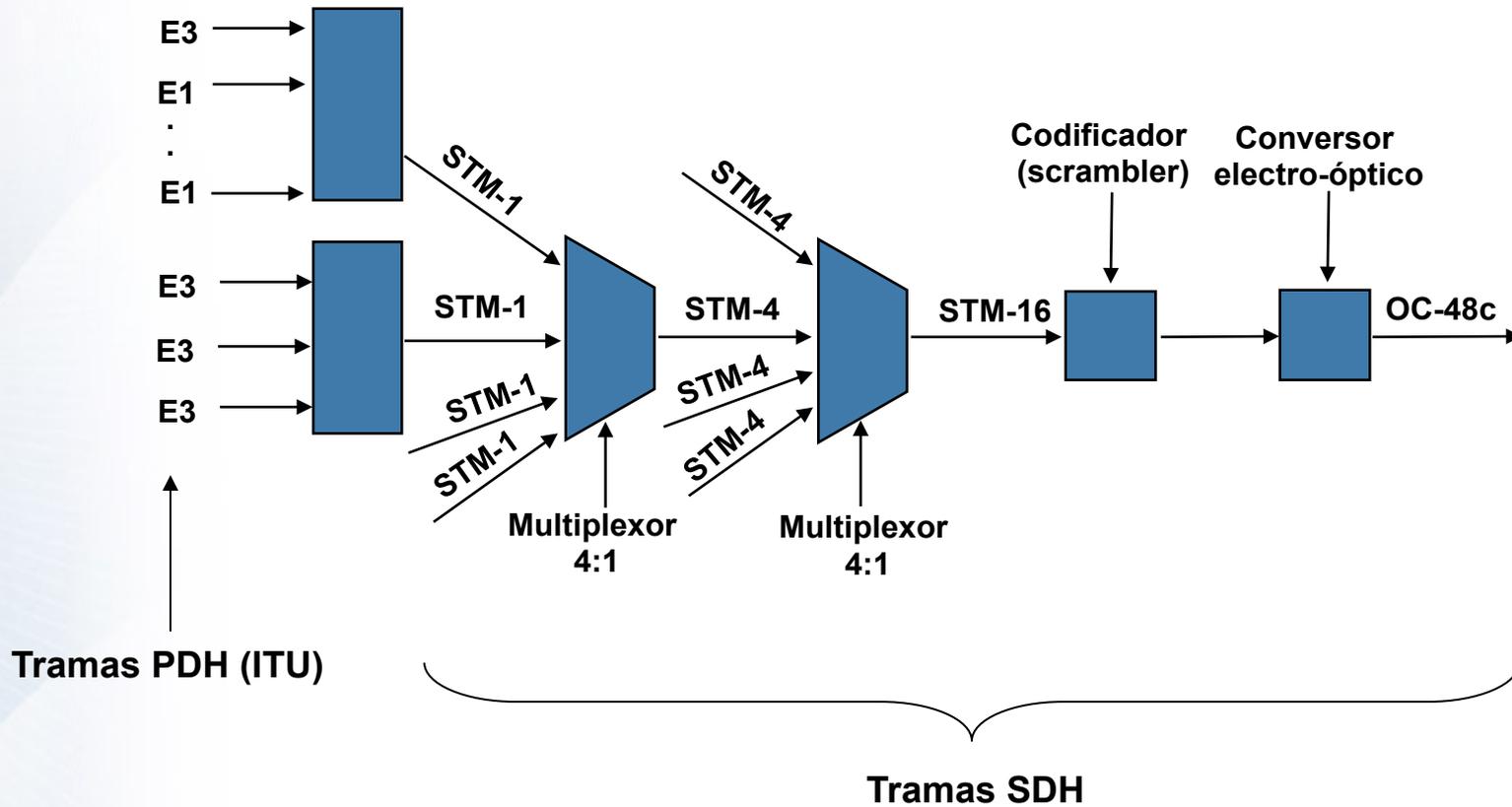


# Las seis soluciones de SONET/SDH

1. El sistema americano (SONET) no es idéntico al internacional (SDH) pero ambos son **compatibles**
2. Define interfaces de **fibra óptica**
3. La capacidad llega, de momento, a **40 Gb/s**, pero es ampliable (aunque 40 Gb/s ya es **muy caro**)
4. Se dispone de herramientas de **gestión y tolerancia a fallos** (la red en anillo recupera averías en 50 ms)
5. Utiliza relojes síncronos y punteros; esto permite el multiplexado/desmultiplexado de niveles jerárquicos no consecutivos
6. Permite seguir utilizando PDH en enlaces de menor capacidad



# Multiplexación SDH





# Elementos físicos de SONET/SDH

- Una red SONET/SDH está formada por:
  - **Repetidores.** Regeneran la señal óptica cuando la distancia supera el máximo permitido
  - **ADMs** (Add-Drop Multiplexor). Son multiplexores que permiten intercalar o extraer tramas de un nivel inferior en uno superior (ej. una STM-1 en una STM-4). También permiten crear anillos
  - **Digital Cross-Connect:** parecidos a los ADMs pero permiten interconexiones más complejas (interconectar anillos).
- A menudo se utilizan topologías de anillo para aumentar la fiabilidad



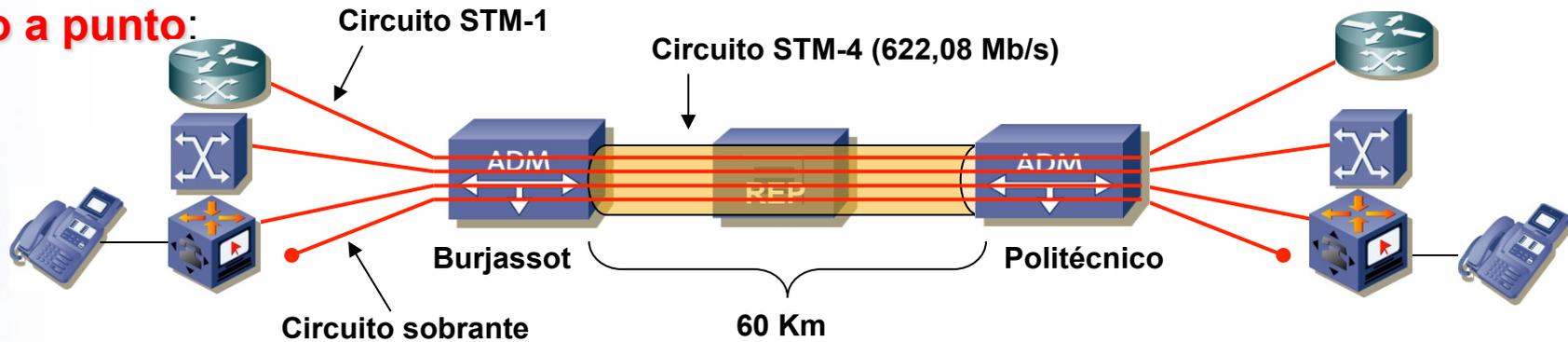
# Topología de redes SONET/SDH

- Según su topología las redes SONET/SDH pueden ser:
  - **Punto a punto:** todos los circuitos empiezan y terminan en el mismo equipo
  - **Punto a multipunto:** los circuitos empiezan o terminan en equipos diferentes
  - **Anillos:** permiten disponer de un camino redundante a un costo mínimo
  - **Redes malladas:** generalmente se constituyen a partir de anillos interconectados

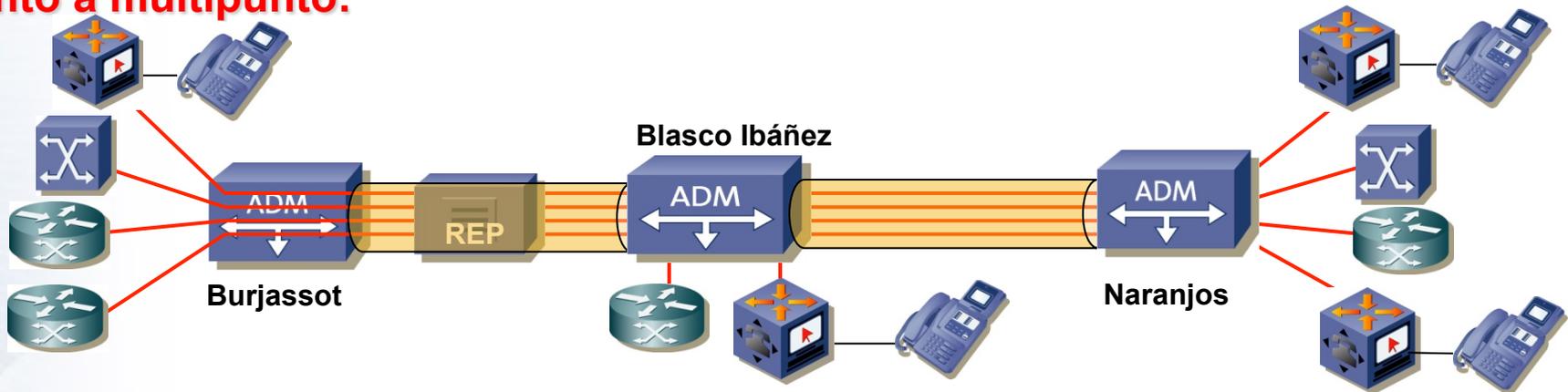


# Redes SONET/SDH

## Punto a punto:



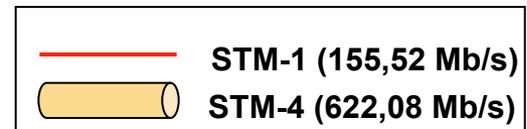
## Punto a multipunto:



ADM: Add-Drop Multiplexor

REP: Repetidor

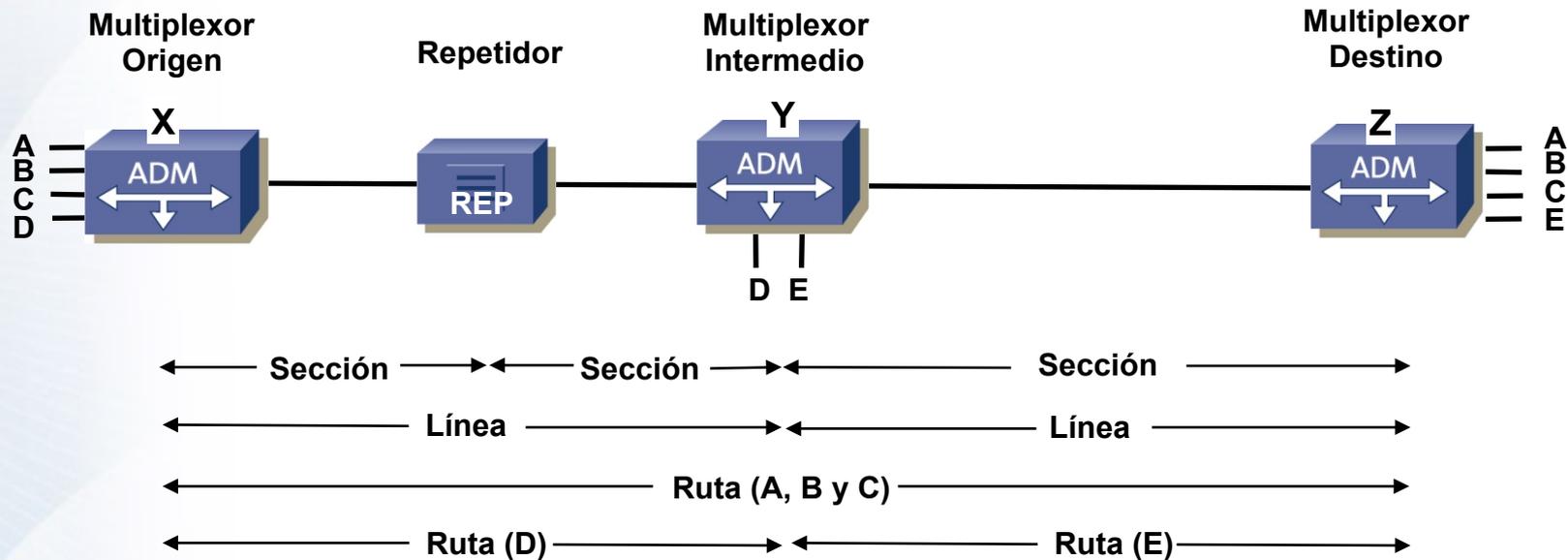
Los circuitos SONET/SDH son siempre full dúplex





# Enlaces en una red SONET/SDH

- **Sección:** unión directa entre dos equipos cualesquiera
- **Línea:** unión entre dos ADMs contiguos
- **Ruta:** unión entre dos equipos finales (principio-fin de un circuito)

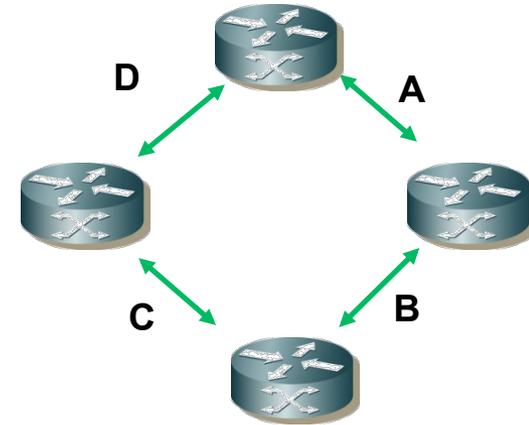
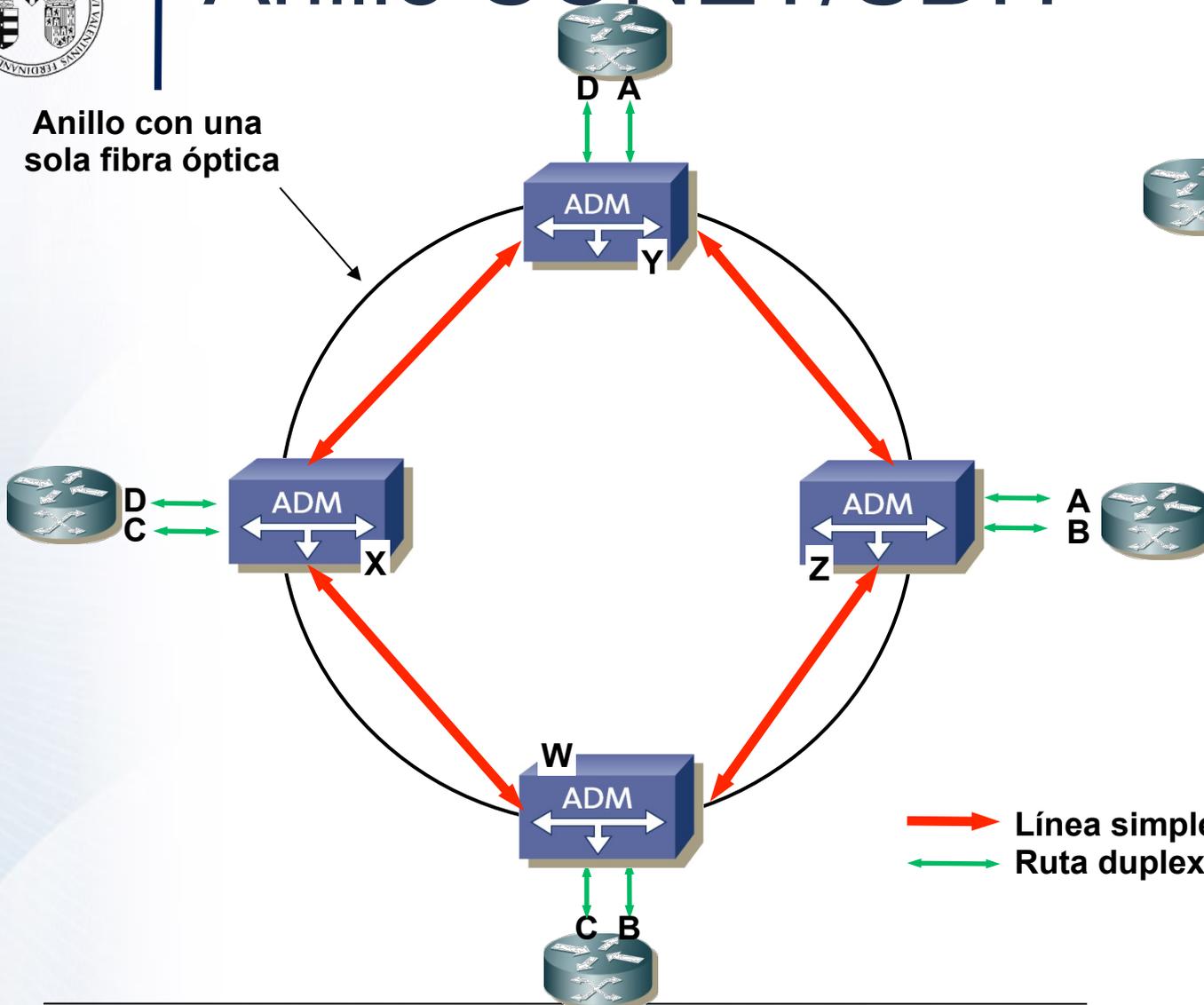


ADM: Add-Drop Multiplexor



# Anillo SONET/SDH

Anillo con una sola fibra óptica

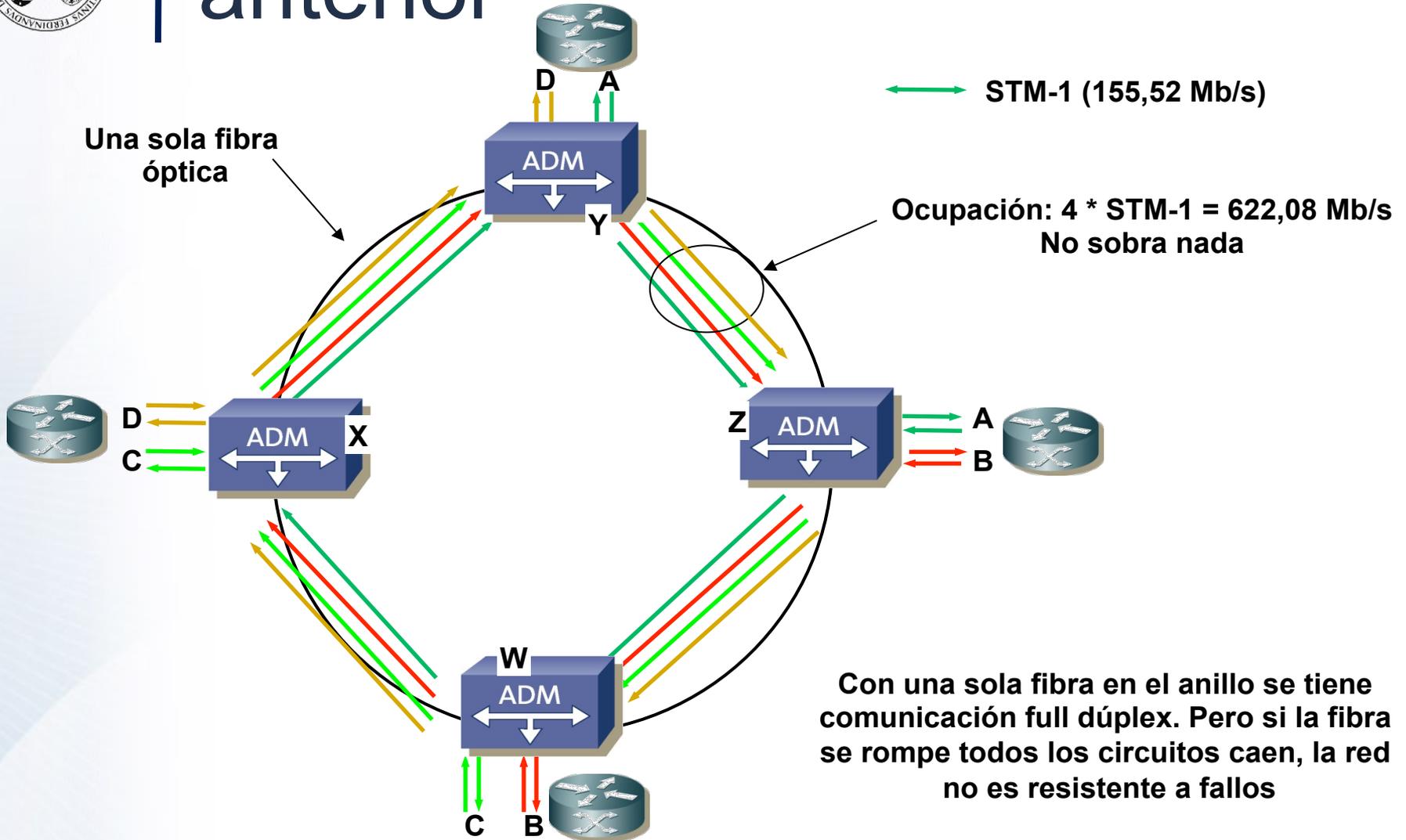


Topología lógica

→ Línea simplex STM-4 (622,08 Mb/s)  
↔ Ruta duplex STM-1 (155,52 Mb/s)



# Funcionamiento del anillo anterior

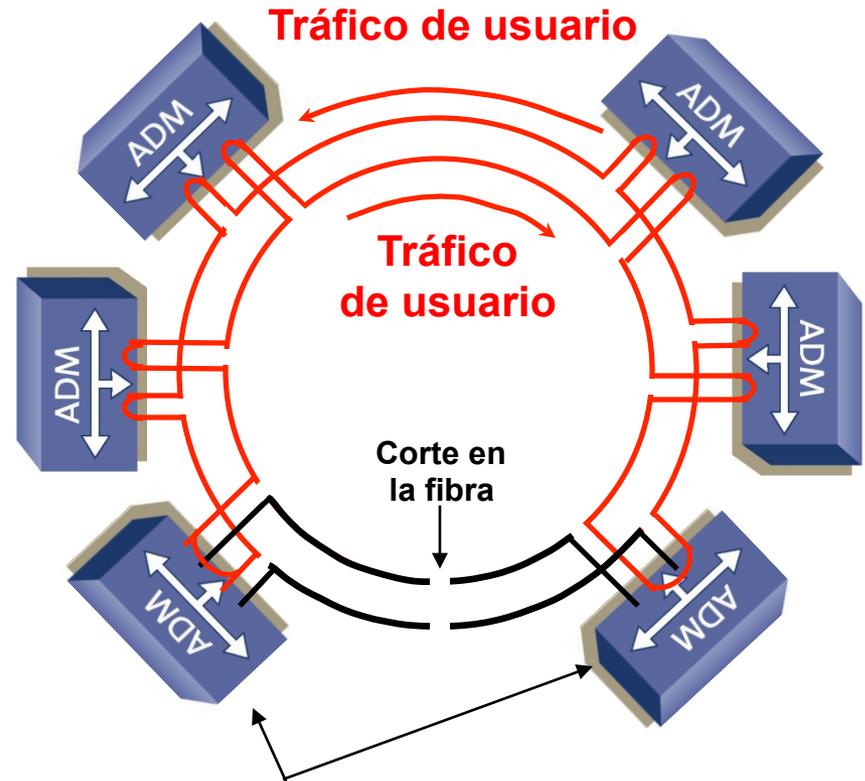




# Recuperación de averías en anillos SDH

Funcionamiento normal

Funcionamiento en caso de avería





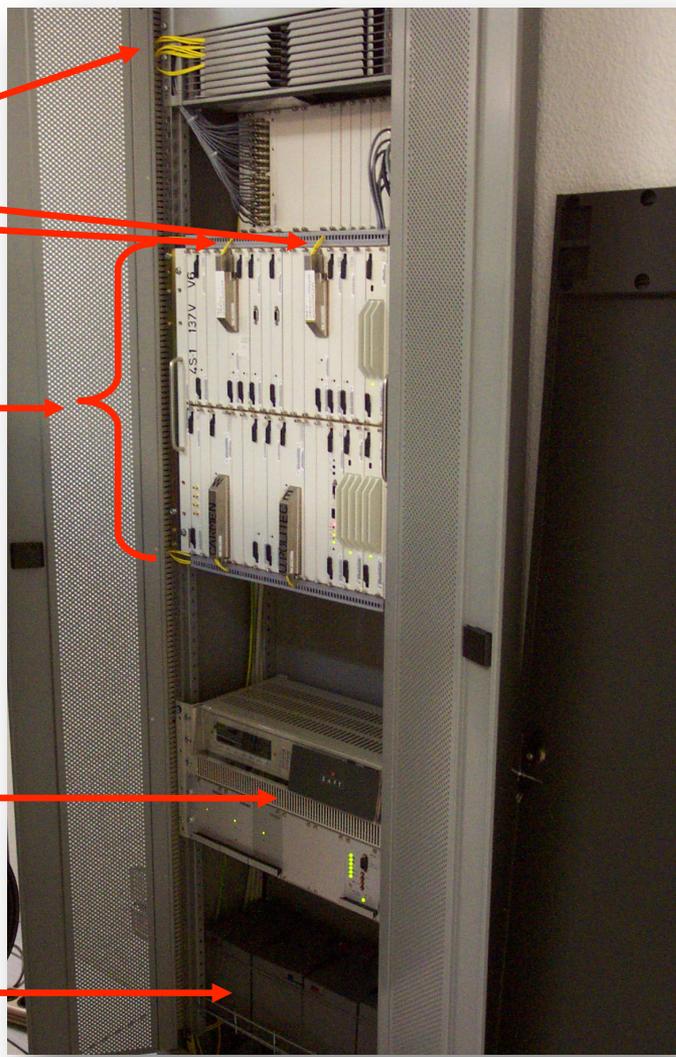
# Bastidor de un ADM STM-4 (622 Mb/s)

**Entrada de fibras monomodo**

**Electrónica redundante**

**Fuentes de Alimentación (redundantes)**

**Baterías 48 V**





# Detalle de un ADM STM-1 en anillo

Anillo principal  
Rx  
Tx

Anillo de respaldo  
Rx  
Tx

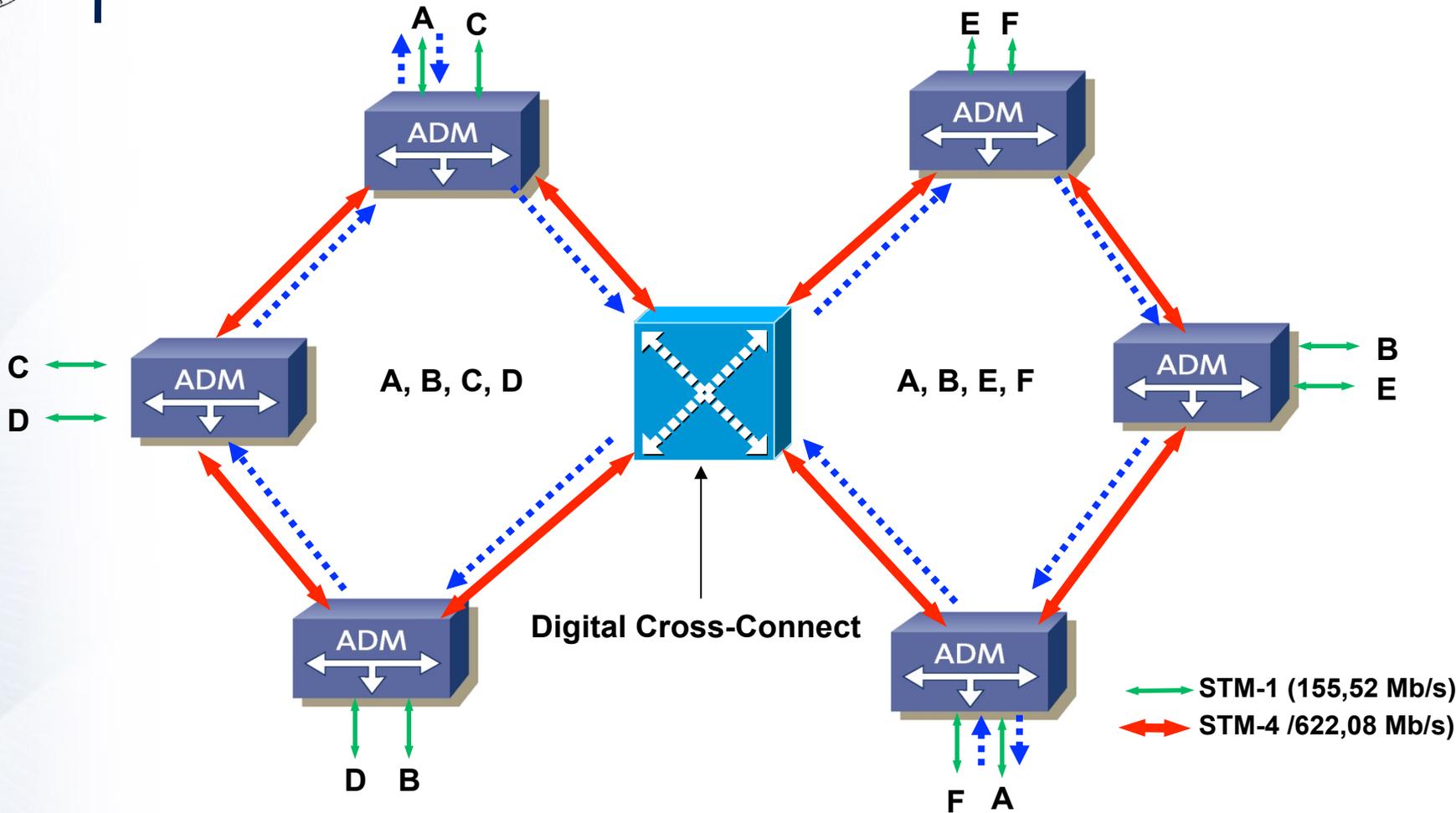
Tarjeta STM-1 primaria

Tarjeta STM-1 de reserva





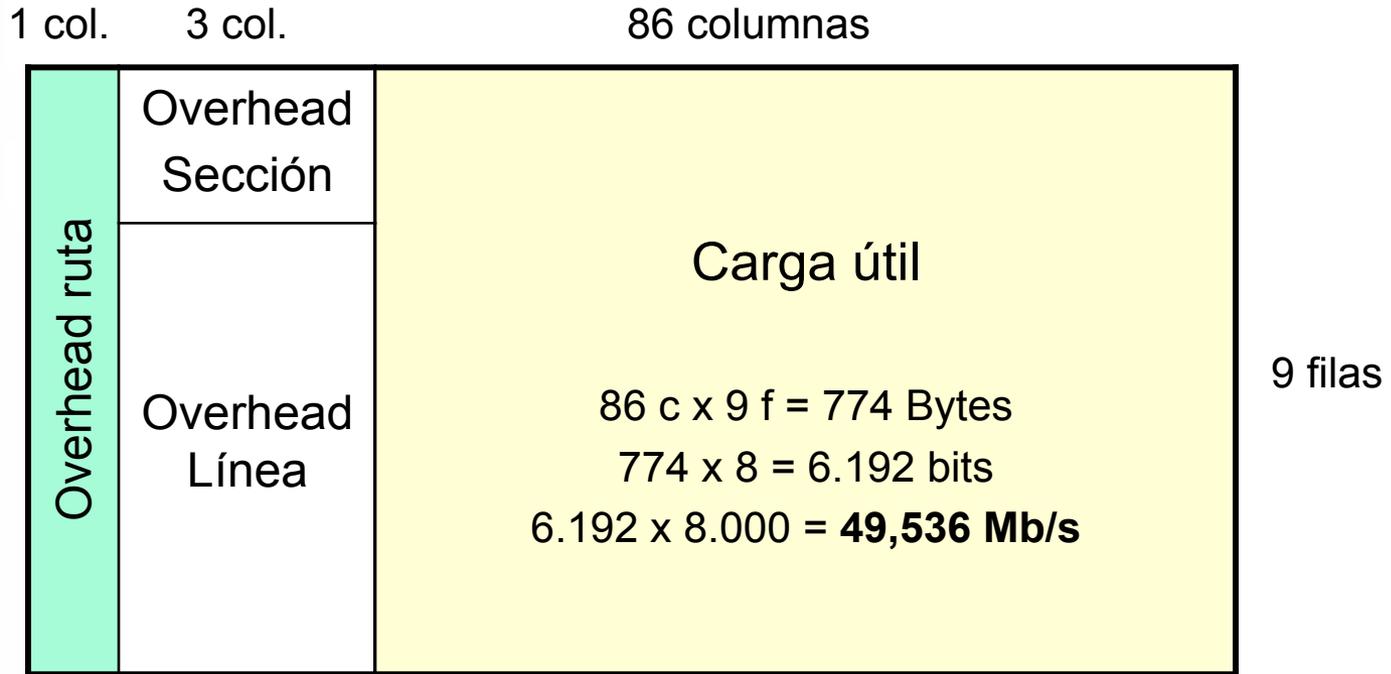
# Dos anillos interconectados con un Digital Cross Connect



Los circuitos A y B ocupan capacidad en ambos anillos  
Ambos anillos están saturados



# Estructura de trama SONET STS-1 (OC-1)



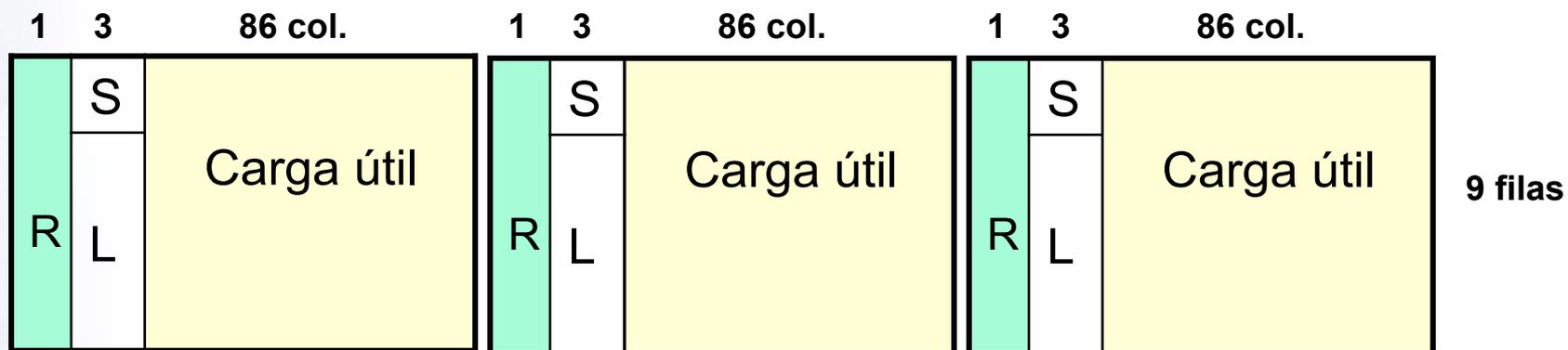
El overhead permite la gestión de la red

90 x 9 = 810 Bytes = 6.480 bits  
8.000 tramas por segundo (una cada 125  $\mu$ s)  
6.480 bits/tr x 8.000 tr/s = **51.840.000 bits/s**



# Trama SONET STS-3 (OC-3)

Formada por tres tramas STS-1:



Tamaño:  $90 \times 9 \times 3 = 2430$  Bytes = 19440 bits

Caudal:  $19440 \times 8000 = 155.520.000$  bits/s

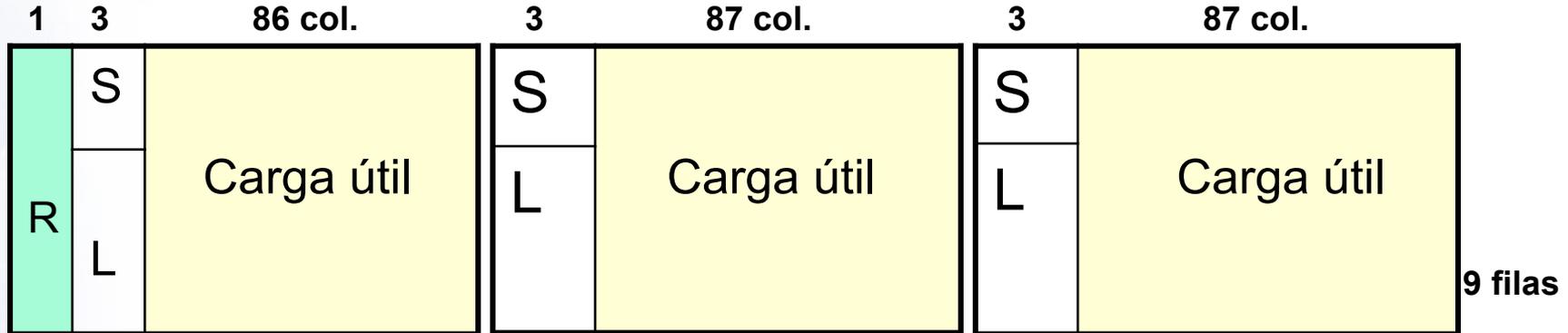
**Carga útil:**  $86 \times 9 \times 3 = 2322$  Bytes = 18576 bits

Caudal útil:  $18576 \times 8000 = \mathbf{148,608}$  Mb/s



# Trama SDH STM-1 (OC-3c)

Como la STS-3 pero la información de ruta sólo aparece en la primera (como tres vagones ‘enganchados’):



**Carga útil:**  $86+87+87 = 260 \times 9 = 2340$  Bytes = 18720 bits

**Caudal útil:**  $18720 \times 8000 = 149,76$  Mb/s

En SONET se ha definido la trama STS-3c (OC-3c) que es igual a la STM-1 (c = ‘catenated’). También hay STS-12c, STS-48c, etc. que equivalen a STM-4, STM-16, etc.



# ATM sobre SONET/SDH

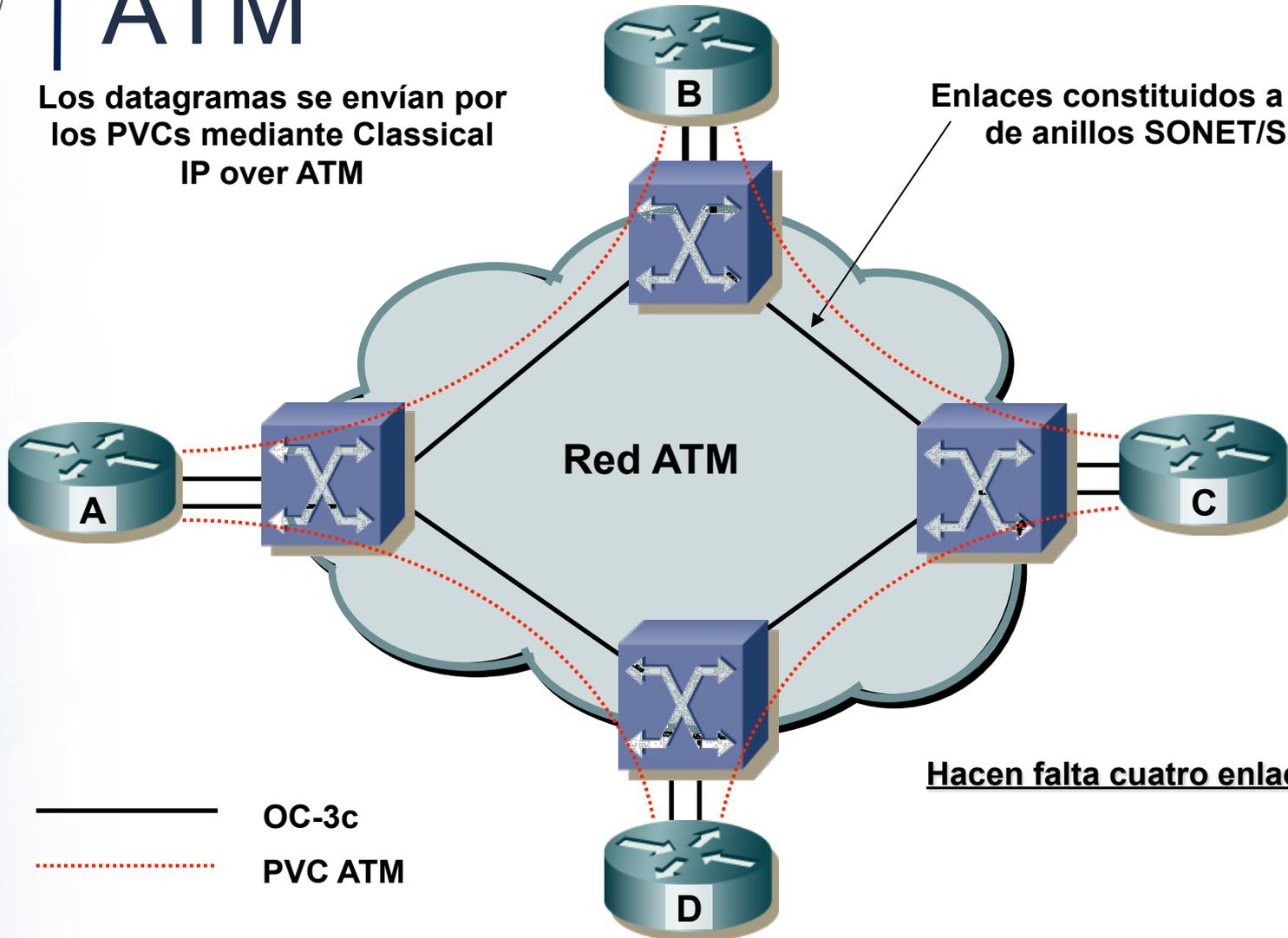
- Los estándares SONET/SDH los desarrolló la ITU-T durante los años 80 en paralelo a los estándares ATM
- Durante la primera mitad de los 90 ATM era la forma habitual de transmitir datos en una red SONET/SDH, y se pensaba que eso era el futuro
- Sin embargo ATM era costoso y poco eficiente, lo cual dio lugar al desarrollo de otras alternativas. Para las redes de datos la principal fue el uso de POS



# Implementación mediante ATM

Los datagramas se envían por los PVCs mediante Classical IP over ATM

Enlaces constituidos a través de anillos SONET/SDH



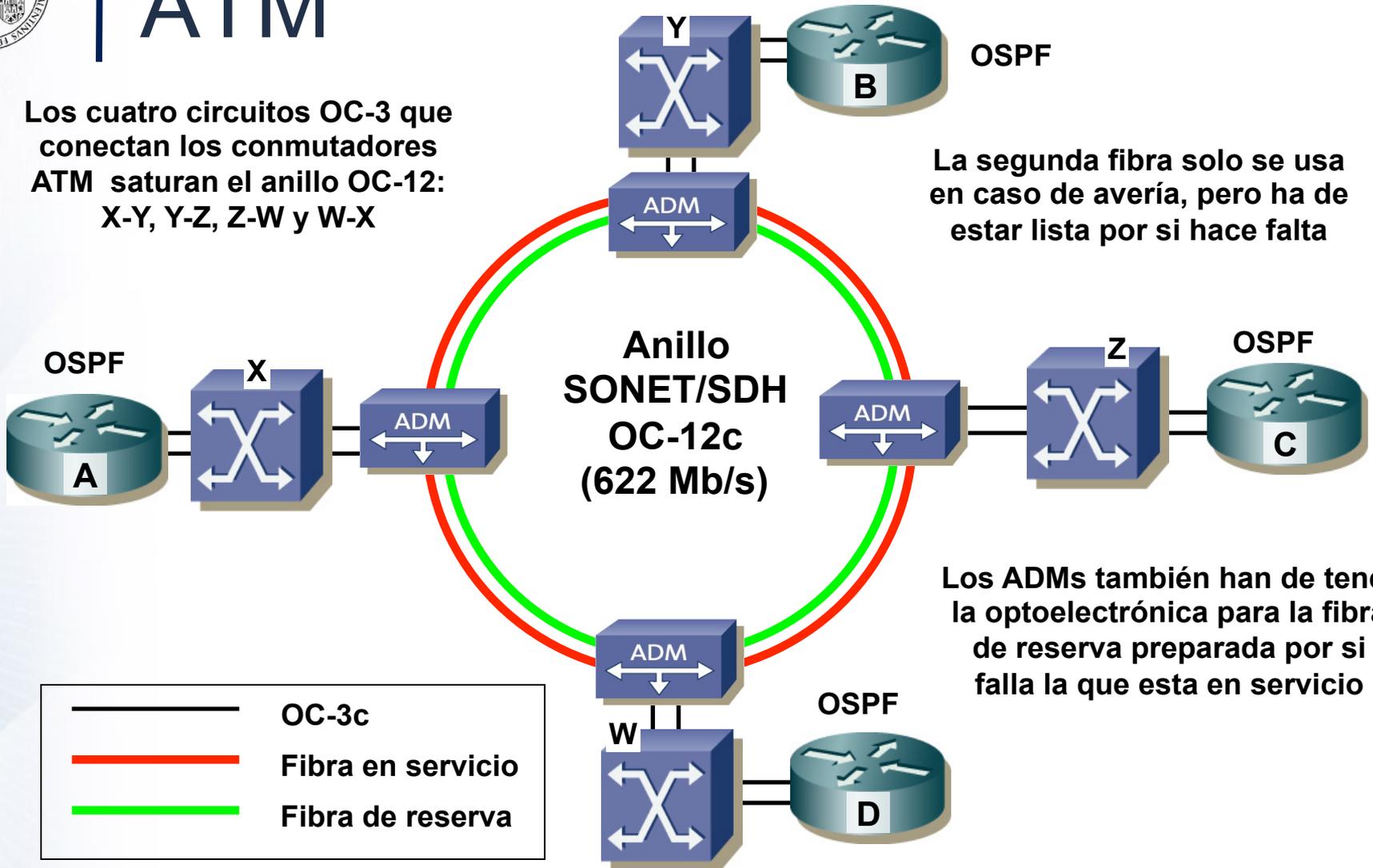
Hacen falta cuatro enlaces OC-3



# Implementación física con ATM

Los cuatro circuitos OC-3 que conectan los conmutadores ATM saturan el anillo OC-12: X-Y, Y-Z, Z-W y W-X

La segunda fibra solo se usa en caso de avería, pero ha de estar lista por si hace falta



Los ADMs también han de tener la optoelectrónica para la fibra de reserva preparada por si falla la que esta en servicio



# Tecnologías avanzadas

## Redes Backbone

- SONET/SDH
- **POS**
- MPLS



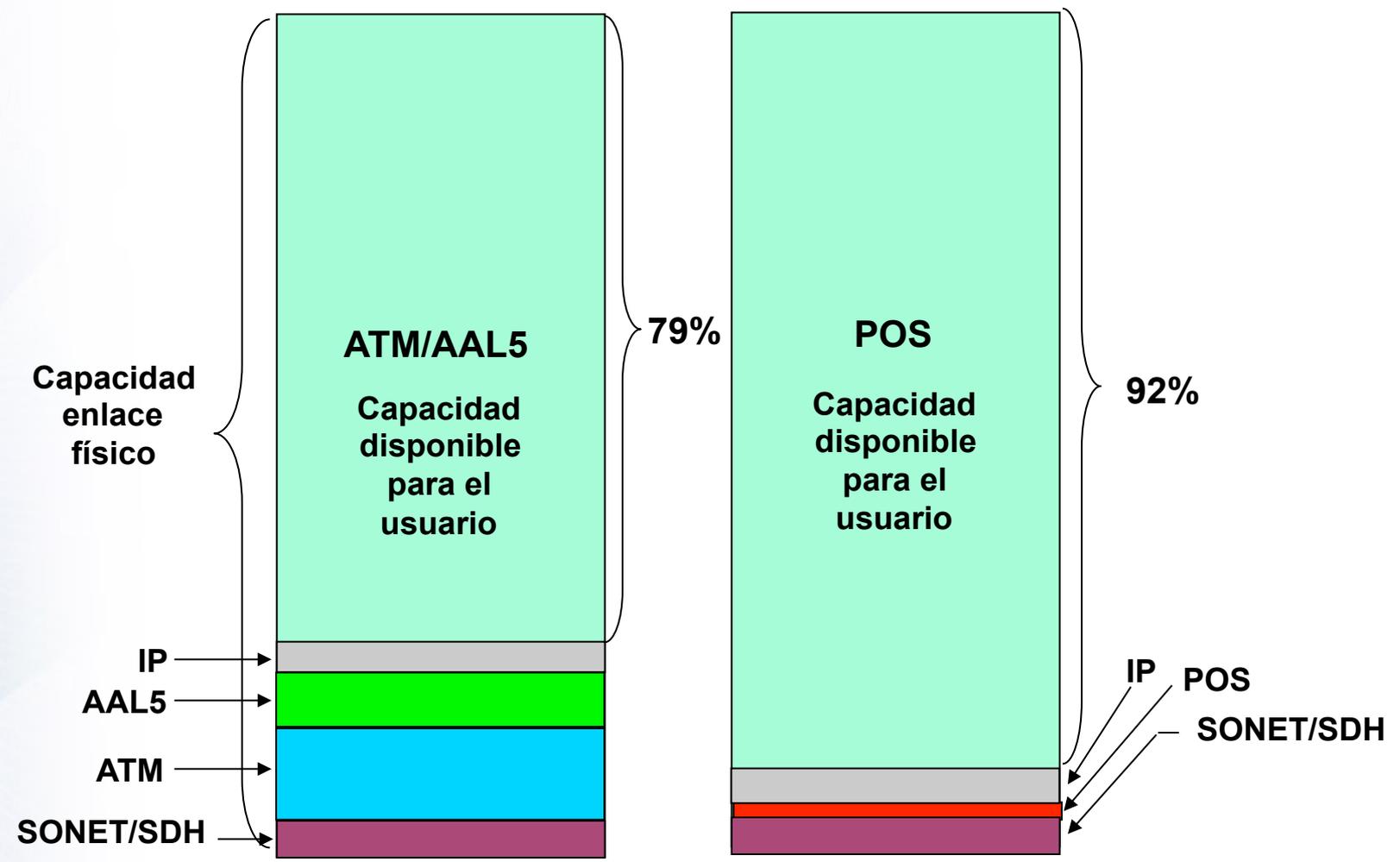
# POS

(Packet Over SONET, o PPP Over SONET)

- Packet Over SONET o POS es una tecnología que apareció a finales de 1996 con el fin de hacer un uso más eficiente de los enlaces SONET/SDH
- Consiste en usar los enlaces como líneas punto a punto con PPP (Point to Point Protocol).
- Además de mejorar el rendimiento respecto de ATM se reduce el equipamiento y por tanto los costos
- POS está estandarizado en el RFC 2615 (6/99)

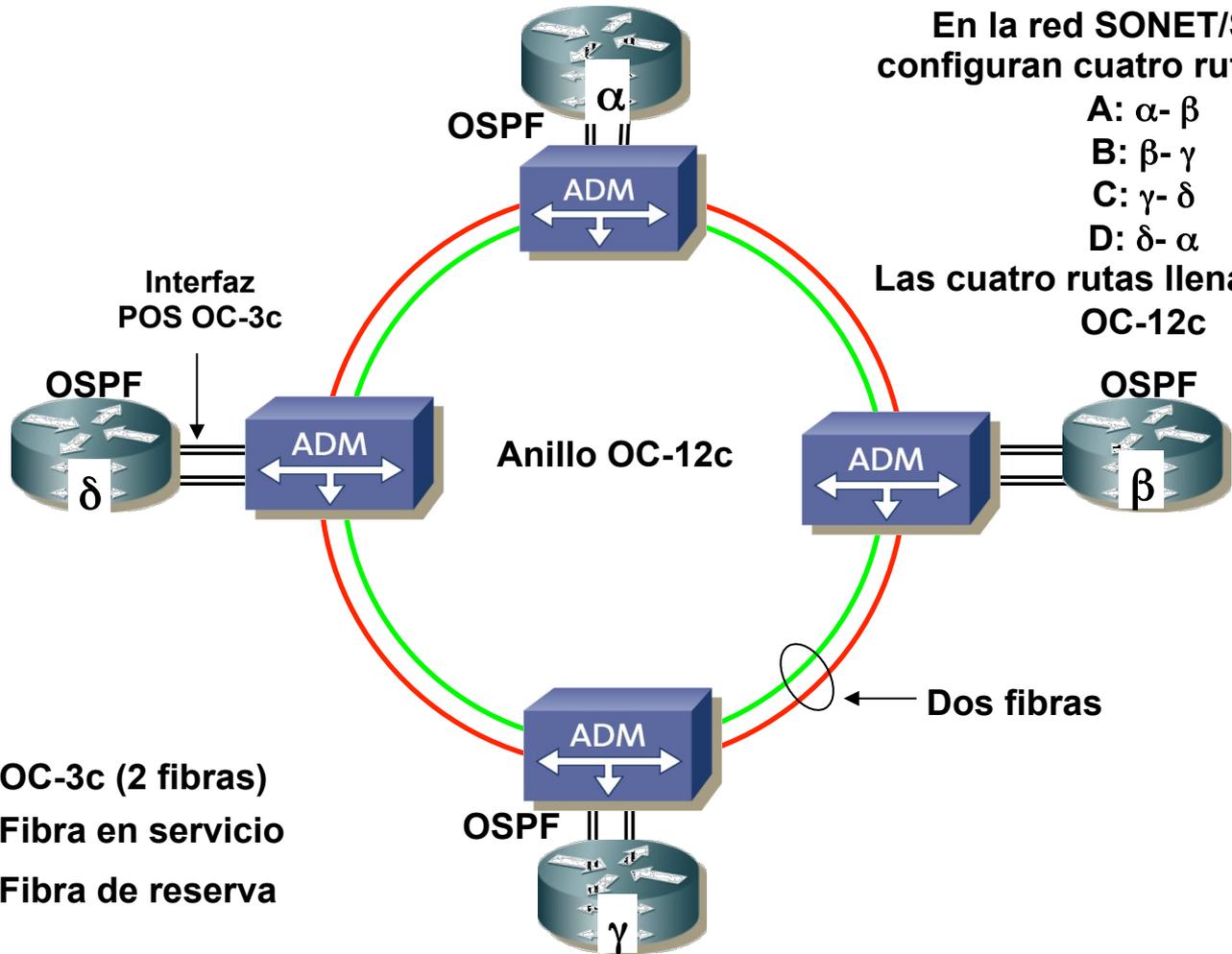


# ATM/AAL5 vs POS





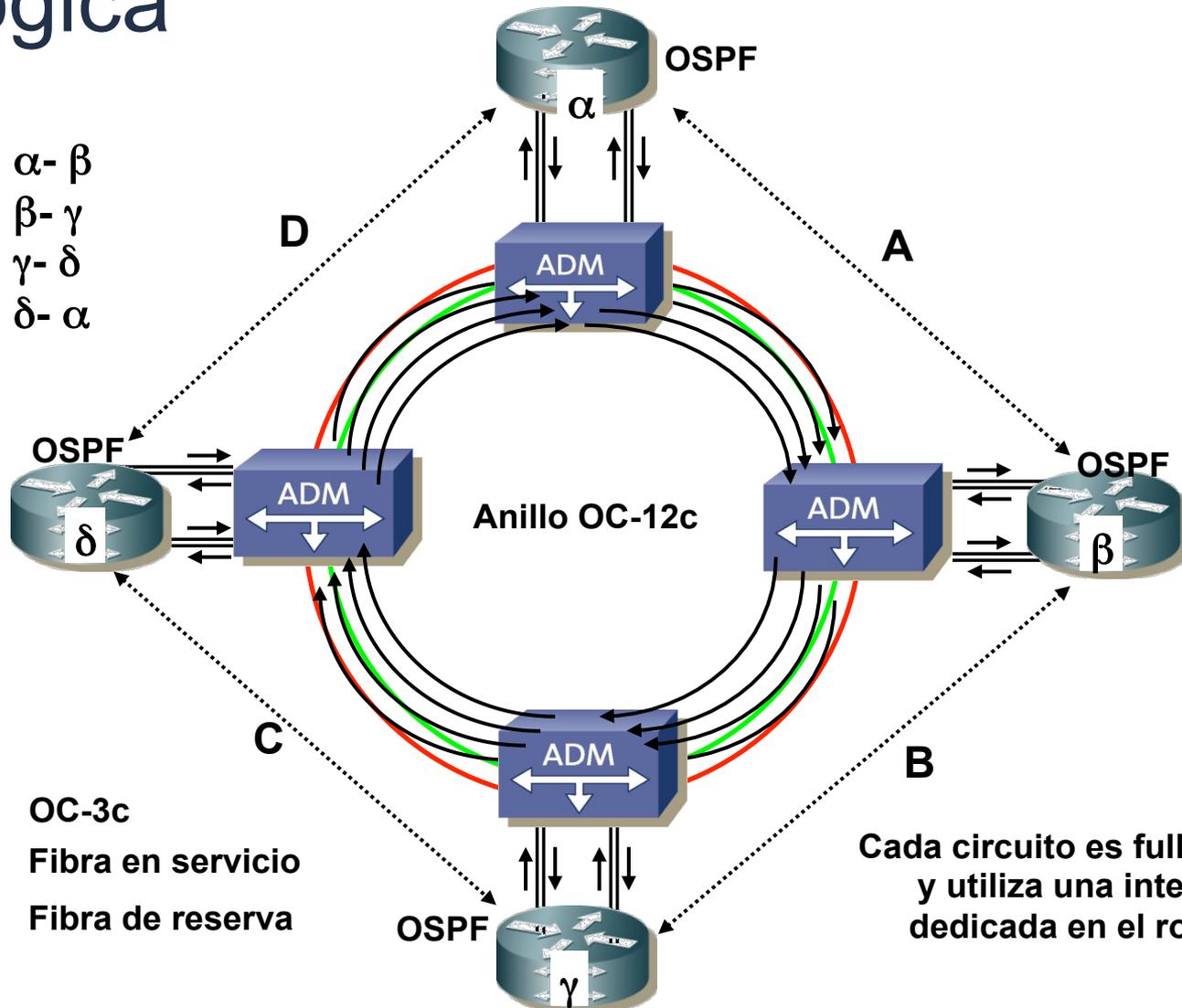
# Conexión de routers con POS. Red física





# Routers con POS. Configuración lógica

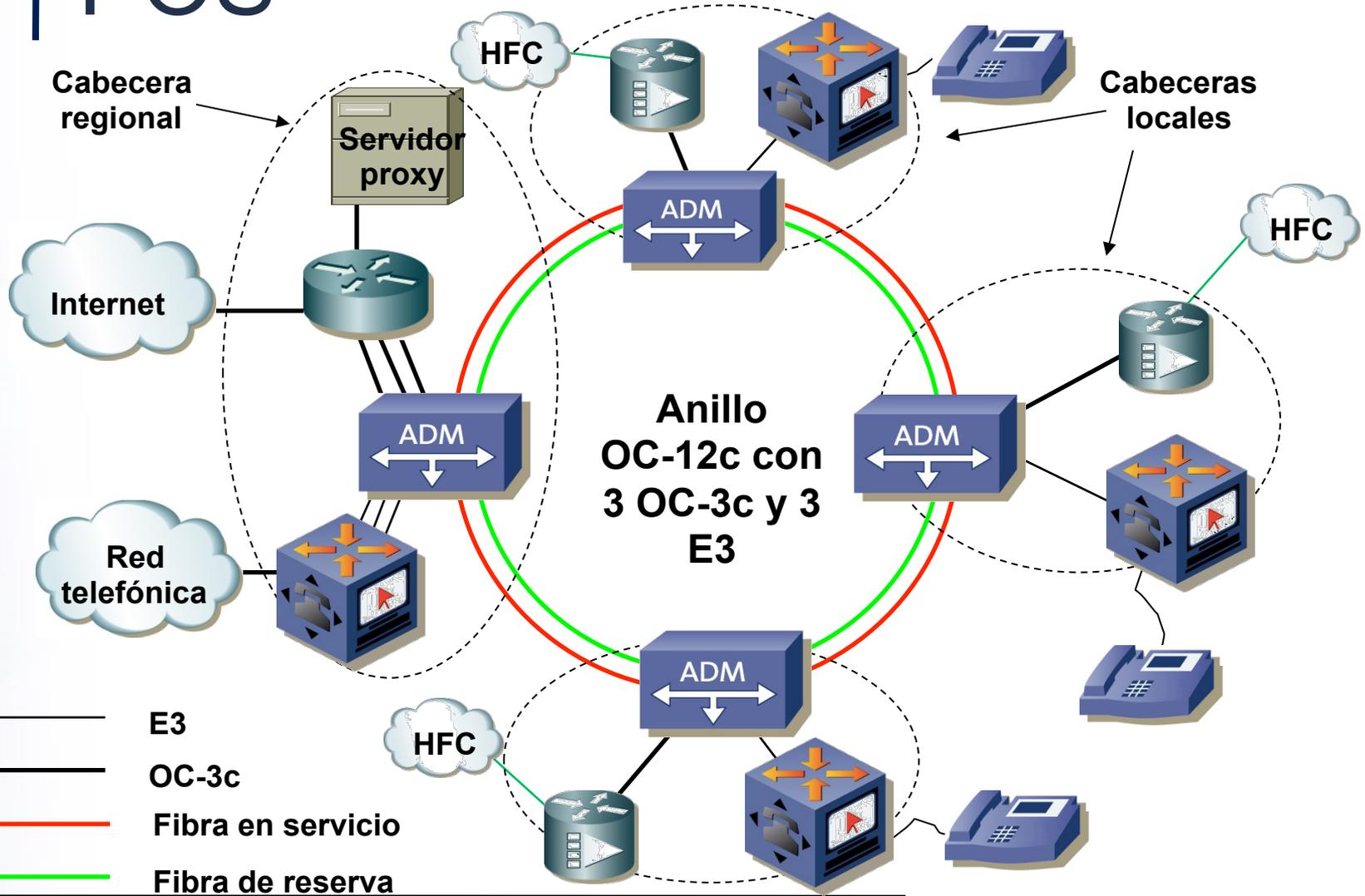
**Circuitos:** A:  $\alpha$ - $\beta$   
B:  $\beta$ - $\gamma$   
C:  $\gamma$ - $\delta$   
D:  $\delta$ - $\alpha$





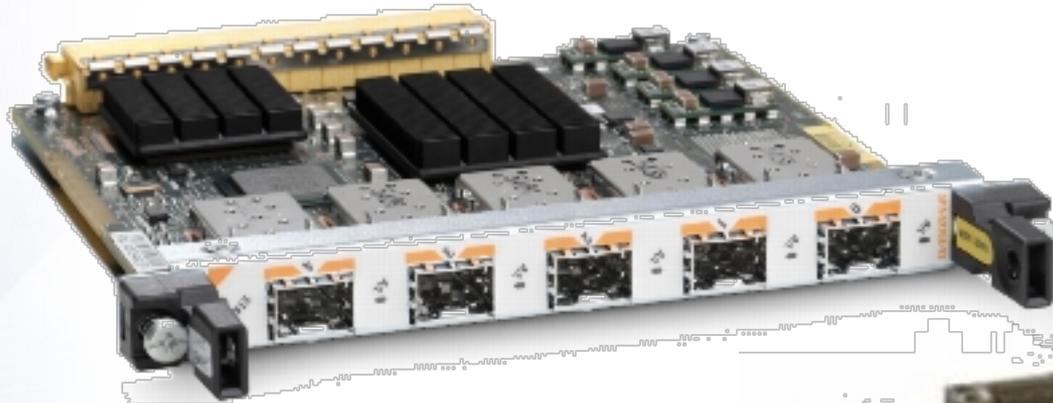
# Ejemplo de red CATV con POS

TECNOLOGÍAS - POS





# Tarjeta POS de router con 4 interfaces OC-192c (10 Gb/s)



Láser	Alcance	Precio
850 nm	300 m	\$ 330.000
1310 nm	2 Km	\$ 550,000
1550 nm	40 Km	\$ 580.000
1550 nm	80 Km	\$ 750.000



# Inconvenientes de SONET/SDH para transmitir datos

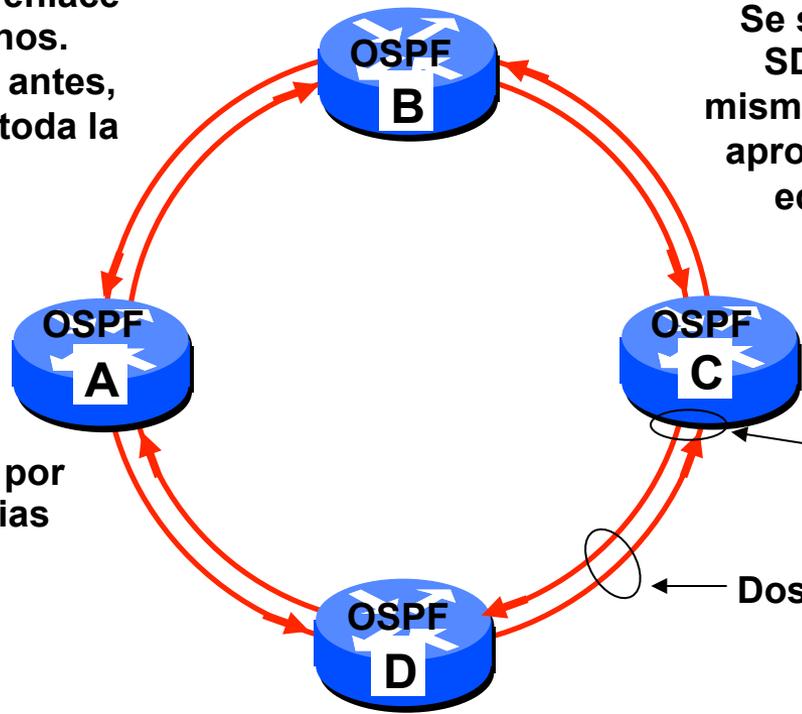
- A pesar de que POS es mejor que ATM las redes SONET/SDH se diseñaron pensando en telefonía y no resultan ideales para datos. Inconvenientes:
  - La comunicación no siempre va por el camino más corto (anillos unidireccionales)
  - La capacidad se ha de repartir de forma estática entre los circuitos configurados
  - La mitad de la fibra no se utiliza normalmente, está de reserva y preparada con toda la optoelectrónica por si falla algún enlace
- Solución: prescindir del equipamiento SONET/SDH.
  - En este caso la fiabilidad nos la da el protocolo de routing (OSPF, IS-IS, etc.)



# Conexión directa de routers POS sin ADMs

TECNOLOGÍAS - POS

Cada router dispone de un enlace full duplex con sus vecinos. Tenemos el doble anillo de antes, pero ahora aprovechamos toda la fibra



Se suprime el equipamiento SDH, pero se mantiene la misma estructura de trama para aprovechar las interfaces, los equipos de diagnóstico, monitorización, etc.

El tráfico siempre discurre por el camino más corto, gracias al protocolo de routing

Interfaz POS

Dos fibras

La capacidad disponible se reparte dinámicamente en toda la red (el tráfico podría repartirse por los dos caminos)

Hay redundancia. Si falla algún enlace el protocolo de routing reencamina el tráfico por el otro lado

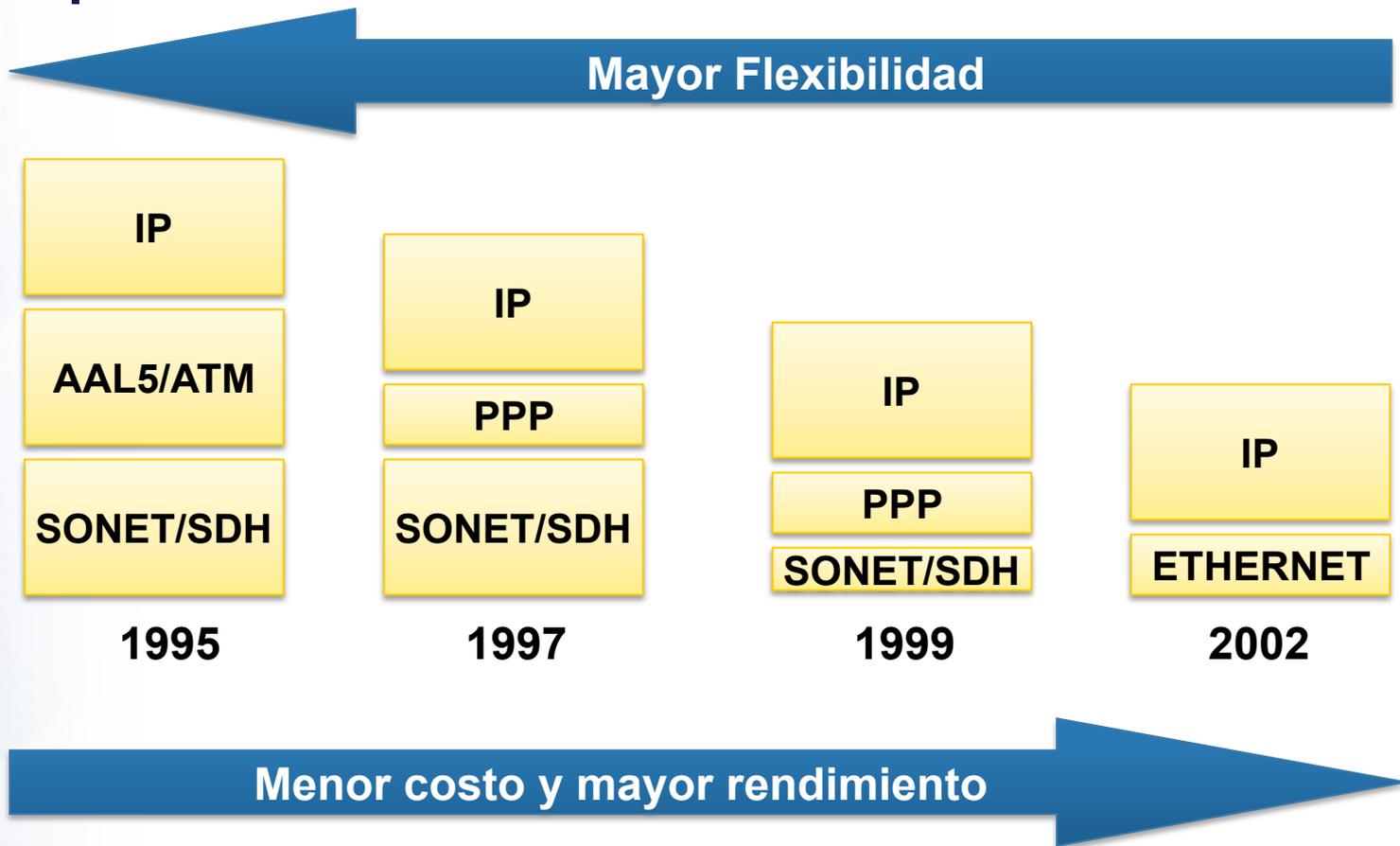


# POS sin SONET/SDH

- La fiabilidad en este caso la da el protocolo de routing (OSPF por ejemplo). No hay recursos en standby, todo se aprovecha.
- El protocolo de routing elige siempre el camino más corto del anillo, y son posibles otras topologías
- Se tiene mayor rendimiento y menor costo (se suprime el equipamiento SONET/SDH)
- Aunque no haya equipos SONET/SDH se sigue utilizando la misma estructura de trama, ya que esto permite aprovechar las mismas interfaces POS y usar equipamiento SONET/SDH de diagnóstico a bajo nivel (repetidores, analizadores, etc.)
- Ahora ya no podemos configurar circuitos por servicio (datos, voz, vídeo). El router 'posee' la fibra en su totalidad

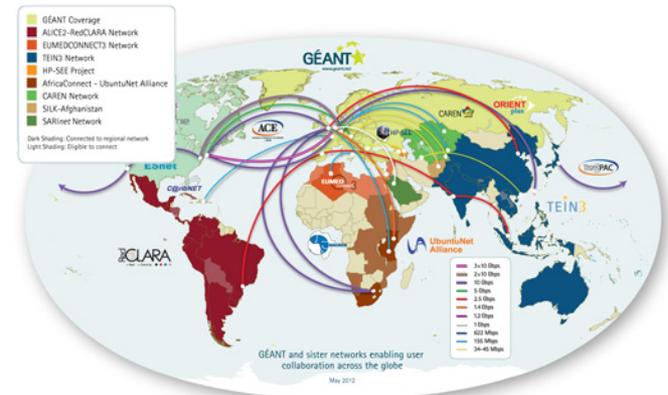
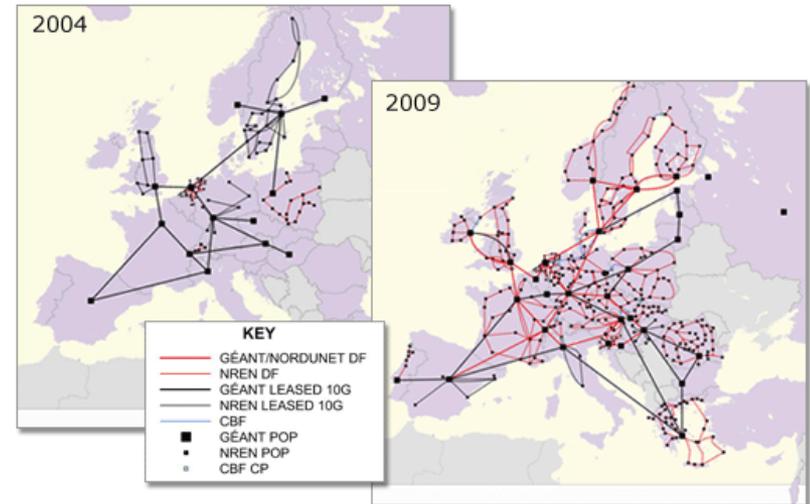
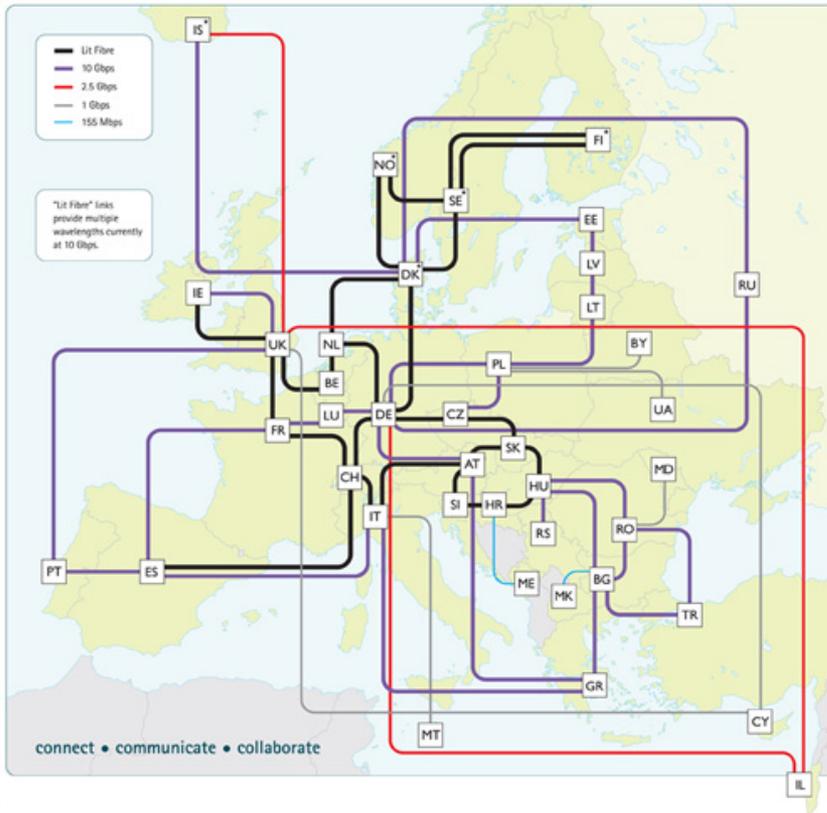


# Alternativas de transporte IP





# Red GÉANT





# Tecnologías avanzadas

## Redes Backbone

- SONET/SDH
- POS
- **MPLS**



# Qué es MPLS?

Es una tecnología de *networking* que utiliza etiquetas unidas a los paquetes para decidir como reencaminar tráfico por la red

- **Etiquetas** MPLS para enviar los paquetes en cada salto en lugar de direcciones IP
- F/R y ATM se basaban en conmutación de etiquetas
- MPLS ayuda a la integración de IP y ATM



# Protocolos Pre-MPLS

- ATM y F/R fueron las *top* en tecnologías WAN
- IP “para todo” → IP sobre VPNs
- Redes privadas
  - Uso de tecnologías L2 WAN
  - Redes superpuestas
- Migración de redes tradicionales basadas en VPNs a MPLS VPNs

**VPN** = Virtual Private Network



# Switching mejorado?

- El switching (o conmutación) de paquetes IP solía ser muy costoso:
  - Leer cabecera IP (32 bits)
  - Comprobar unicast/multicast
  - Buscar la dirección destino (routing table)
- Switching Etiquetas → procesado hardware
- Nota: hoy en día el switching IP es tan rápido como el switching de etiquetas



# Infraestructura de red unificada

## ■ Concepto MPLS

- Etiquetar el paquete entrante basado en la dirección de destino (u otro criterio) y conmutar todo el tráfico

## ■ MPLS + IP

- Transporta todo el tráfico que funciona sobre IP (data, telephone,...)

## ■ AToM (*Any Transport over MPLS*)

- MPLS puede transportar IPv4, IPv6, Ethernet, HDLC, PPP y otras tecnologías de capa 2



# Integración, IP over ATM

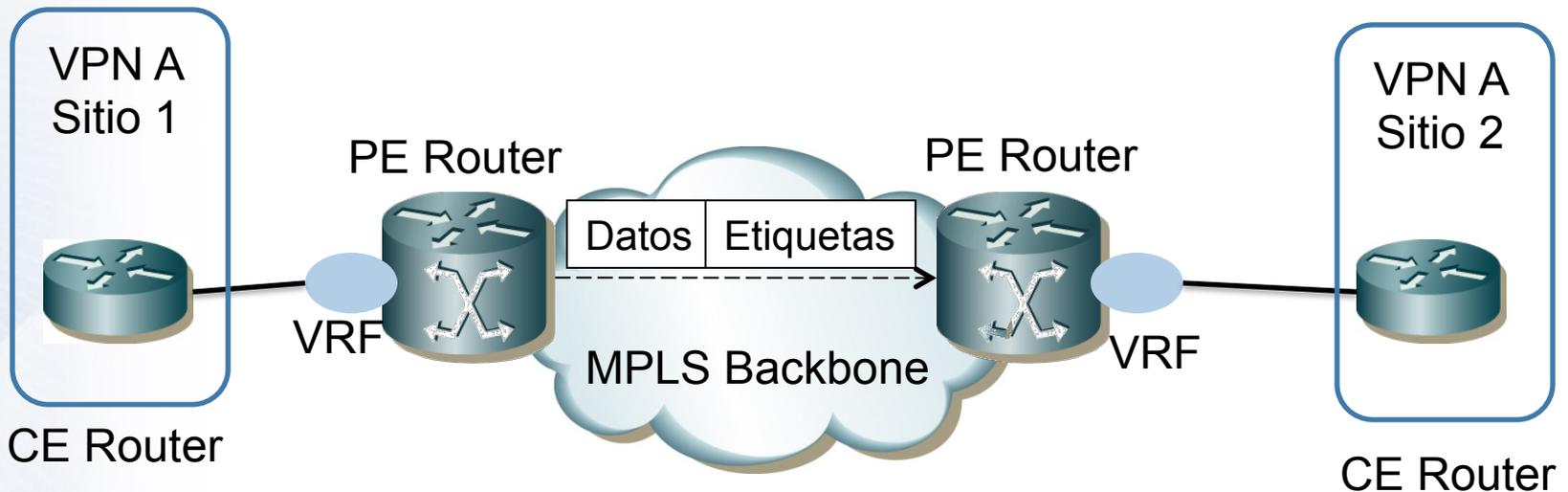
- IP ganó la batalla en capa 3 & ATM en capa 2
- IP over ATM era necesario (WAN backbone)
  - RFC 1483, *Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5* → Carga de administración
  - LANE (*LAN Emulation*)
  - MPOA (*Multiprotocol over ATM*) → Complejo
  
- Solución final → MPLS
  - Inteligencia en redes ATM



# MPLS VPNs (peer-to-peer)

TECNOLOGÍAS - MPLS

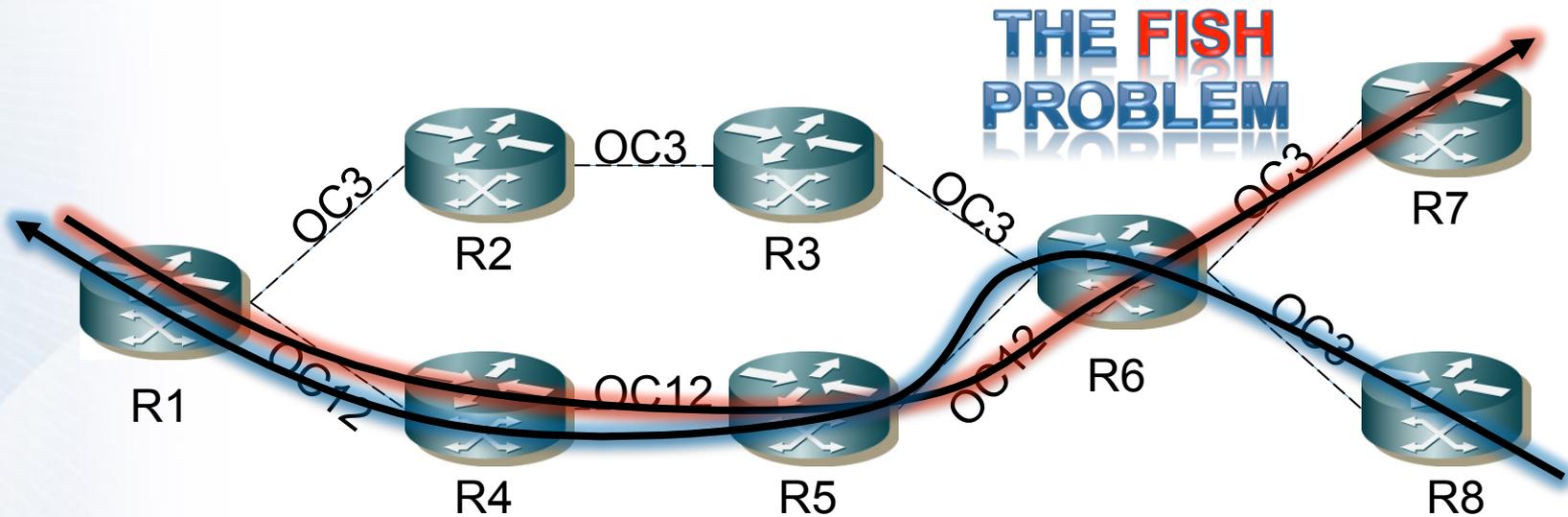
- Permite implementar un modelo peer-to-peer de forma fácil
- Privacidad garantizada mediante el uso de *Virtual Routing Forwarding (VRF)*





# Ingeniería de tráfico

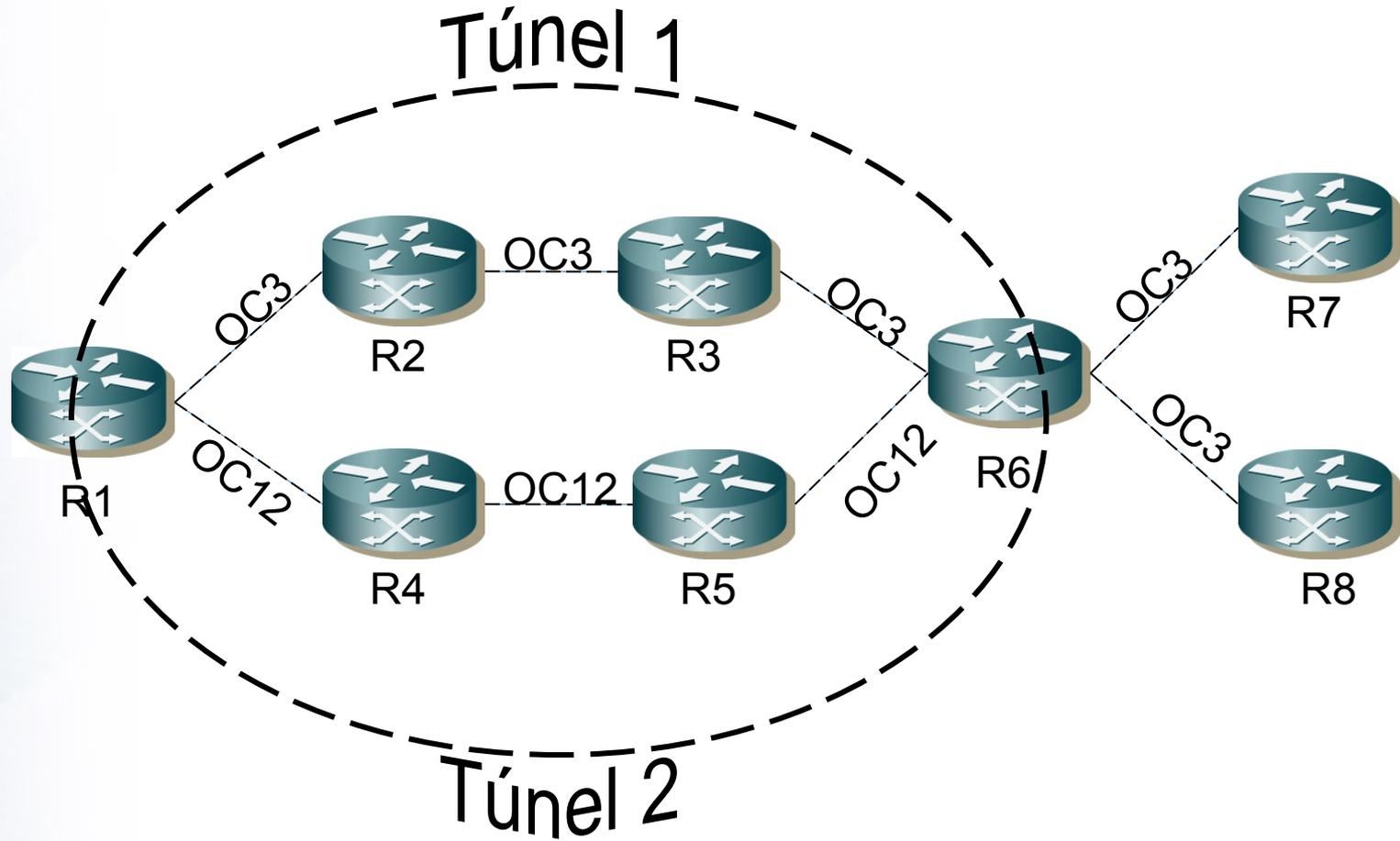
- Uso óptimo de la infraestructura de red
- No todo el tráfico por la ruta de menor coste (dictado por el protocolo de routing)
- El tráfico se reparte más equitativamente sobre los enlaces disponibles





# MPLS-TE

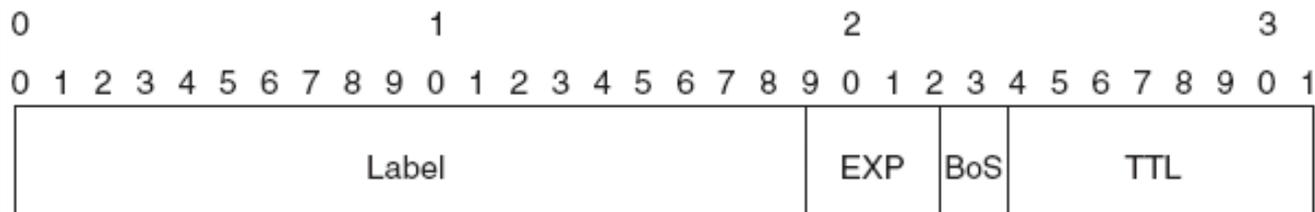
## Ingeniería de tráfico





# Etiquetas MPLS

- La etiqueta MPLS es un campo de 32 bits
  - LABEL: 20 bits (max. 1,048,575 etiquetas, 16 etiquetas reservadas)
  - EXP: para QoS (Quality of Service)
  - BoS: Con valor “1” en la *Última etiqueta* del paquete
  - TTL: Time To Live





# Apilado de etiquetas

- Se pueden utilizar varias etiquetas para enrutar el paquete a través de la red MPLS
- Las etiquetas se apilan una sobre la otra

Etiqueta	EXP	0	TTL
Etiqueta	EXP	0	TTL
...			
Etiqueta	EXP	<b>1</b>	TTL



# Localización de las etiquetas



## Formatos de trama

cabecera Ethernet	<b>MPLS Label</b>	cabec IP	Datos	MAC trailer
----------------------	-----------------------	-------------	-------	----------------

cabecera PPP	<b>MPLS Label</b>	cabec IP	Datos	MAC trailer
-----------------	-----------------------	-------------	-------	----------------

cabecera F/R	<b>MPLS Label</b>	cabec IP	Datos	MAC trailer
-----------------	-----------------------	-------------	-------	----------------

→ **Capa OSI 2.5**



# LSR & LSP –

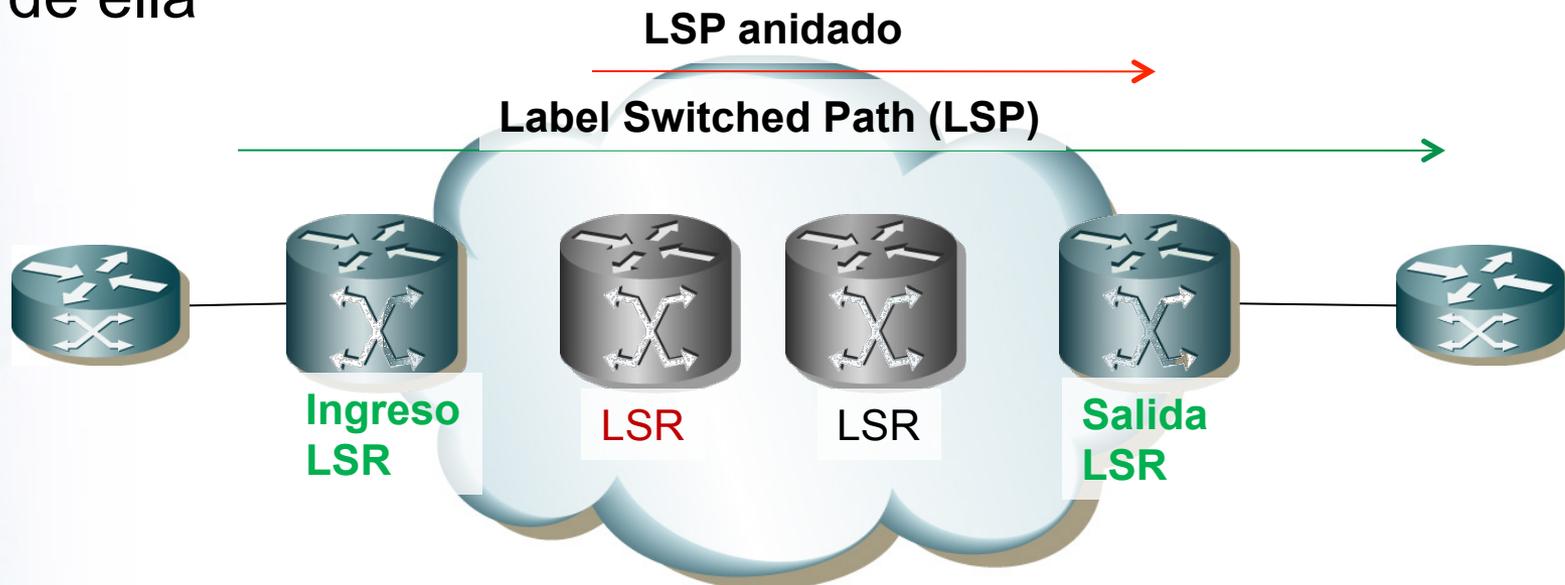
## Label Switched Router

## Label Switched Path

 [http://en.wikipedia.org/wiki/Label\\_switch\\_router](http://en.wikipedia.org/wiki/Label_switch_router)

 [http://en.wikipedia.org/wiki/Label\\_Switched\\_Path](http://en.wikipedia.org/wiki/Label_Switched_Path)

- LSR: Router que soporta MPLS
- LSP: es una secuencia de LSRs que conmutan un paquete etiquetado a través de una red MPLS o parte de ella





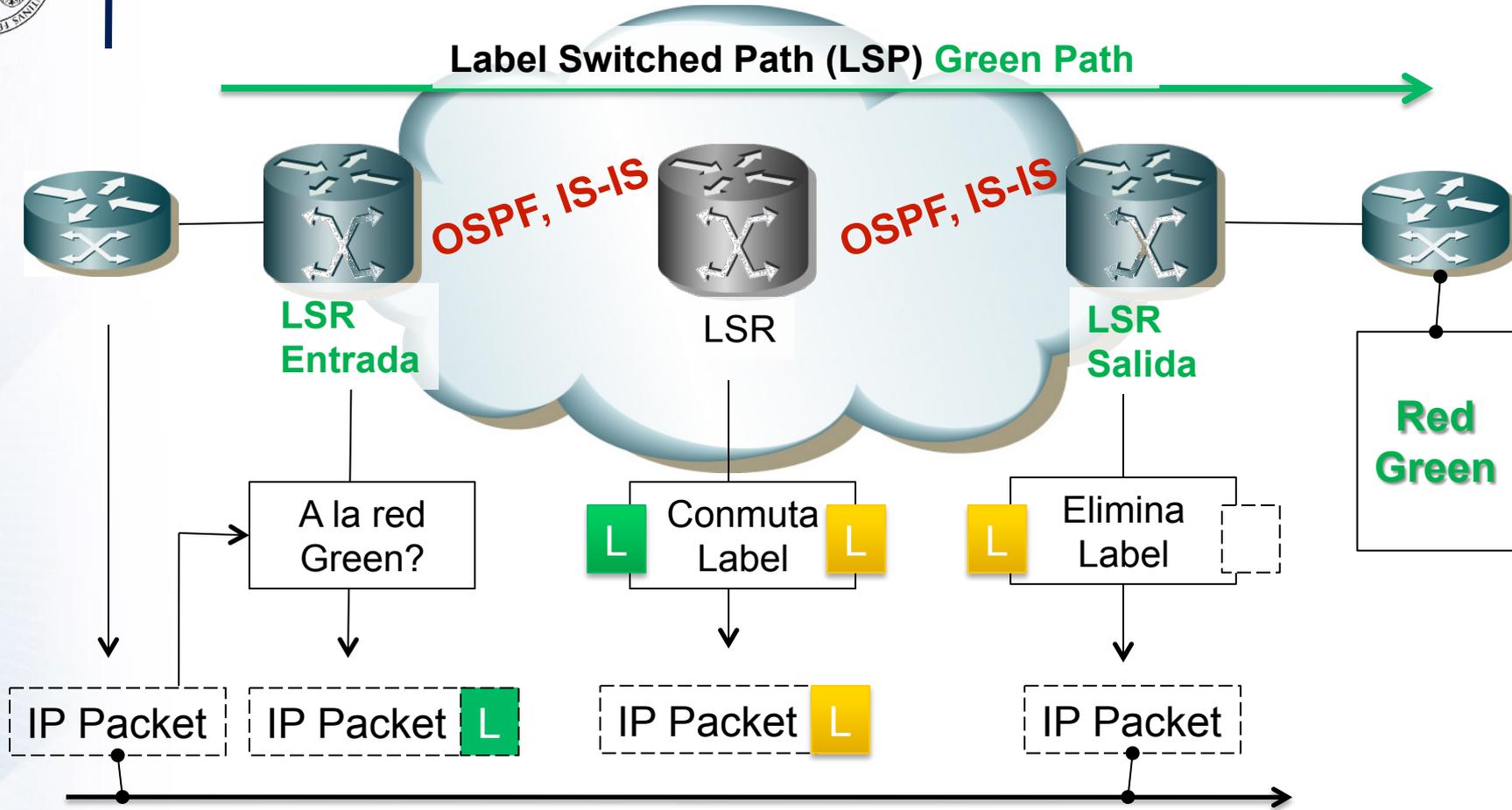
# FEC

## Forwarding Equivalent Class

- FEC: grupo de paquetes enviados por la misma ruta y tratados del mismo modo
- Mismo FEC = misma *Etiqueta*
- Mismo *Etiqueta* NO SIEMPRE mismo FEC (ej. debido a diferentes valores de EXP)
- LSR de ingreso clasifica los paquetes en FECs
  - Basado en: IP origen/destino, IP DiffServ Code Point (=EXP),...



# Distribución de etiquetas



Es necesario un protocolo de distribución de etiquetas!



# Cómo distribuir etiquetas? (I)

- *Piggyback* de las etiquetas en un protocolo de routing IP existente
  - ☺ No se necesita un protocolo adicional en LSR
  - ☺ Sync protocolo de routing y de etiquetas
  - ☺ La implementación en un protocolo de routing por vector distancia es sencilla (EIGRP)
  - ☹ Se necesita extender el protocolo IP
  - ☹ Problemas en protocolos de routing por el estado del enlace

*Piggyback: Cargar a costas*



# Cómo distribuir etiquetas? (II)

- Uso de un protocolo adicional para la distribución de etiquetas
  - ☺ Independiente del protocolo de routing
  - ☹ Se necesita un nuevo protocolo en los LSRs
- Varias alternativas
  - Tag Distribution Protocol (TDP) [Cisco/deprecated]
  - Label Distribution Protocol (LDP)
  - Resource Reservation Protocol (RSVP)



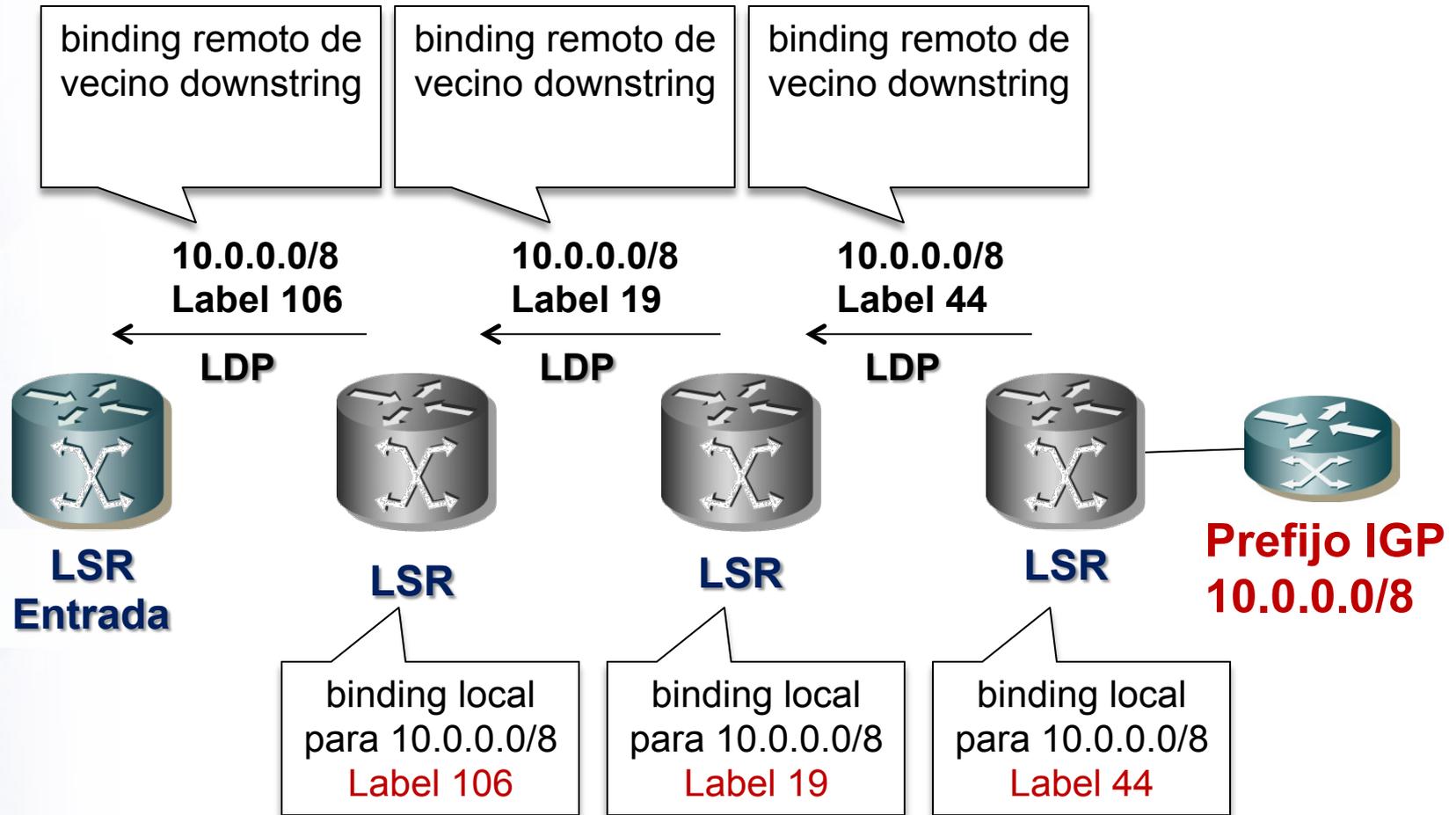
# Label Distribution Protocol - LDP

- LSR
  1. Define un *Label-binding* por cada prefijo IGP IP
  2. Redistribuye *bindings* a todos los vecinos LDP
  3. Recibe los *bindings* remotos y los añade a la tabla *LIB*
- El espacio de etiquetas puede ser *per-platform* o *per-interface*.
- Varios *bindings* remotos puede ser recibidos para un prefijo IP común → Seleccionamos uno
- Configura *Label Forwarding Information Base* (LFIB)
  - Intercambia la etiqueta de entrada por una de salida

*LIB: Label Information Base*



# Label Distribution Protocol - LDP





# Label Forwarding Information Base - LFIB

- LFIB es la tabla utilizada para reenviar paquetes con etiquetas
  - Label de entrada → del binding local
  - Label de salida → elegido entre los binding remotos de todas la posibilidades (basado en la mejor ruta)
- LFIB completado a partir de
  - LDP
  - RSVP: para MPLS-TE
  - BGP: para MPLS VPNs



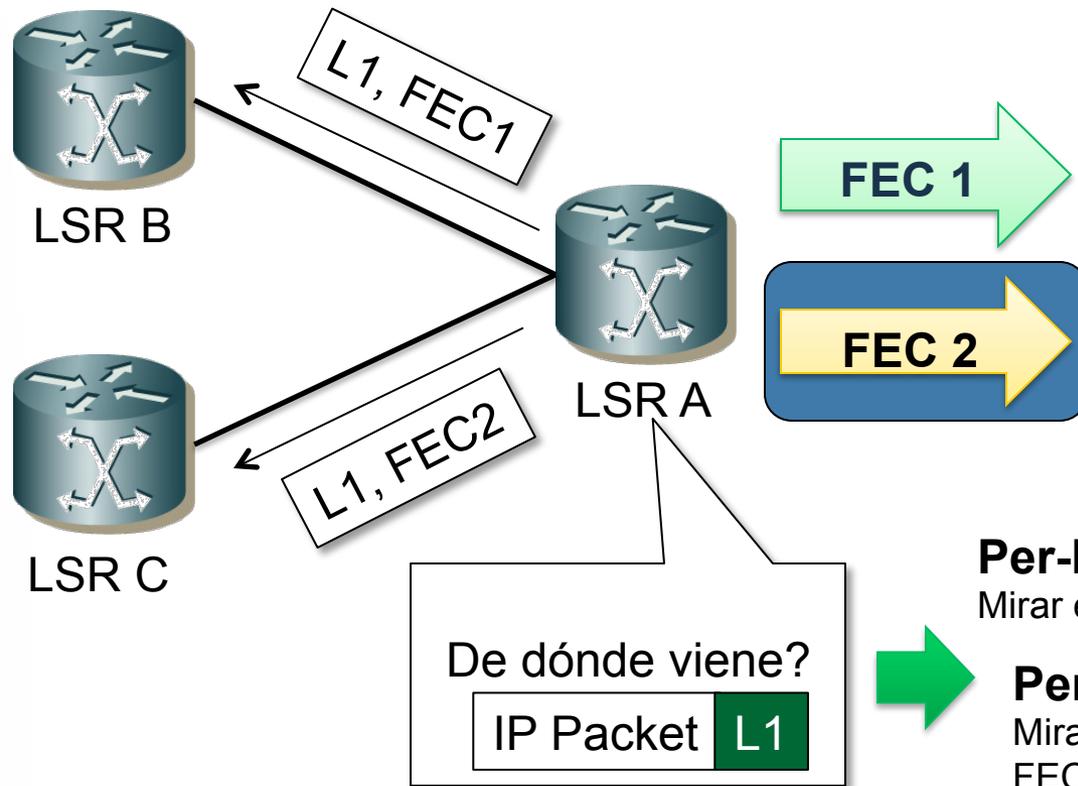
# MPLS *payload*?

- MPLS no tiene campo identificador de protocolo *Network Level Protocol (NLP)*
- Un LSR no necesita saber que información transporta (*payload*), solo es importante la etiqueta superior
- Un LSR solo necesita saber como conmutar la etiqueta superior recibida
- El LSR de salida elimina todas etiquetas y asigna un NLP (por ejemplo IP)



# Espacio de labels MPLS

## *Per-Interface vs. Per-Platform*



### **Per-Interface:**

Mirar etiqueta & Interface de entrada

### **Per-Platform:**

Mirar SOLO la etiqueta  
FEC2 necesita una etiqueta L2



# Modos MPLS

- Modos de distribución de etiquetas
  - Label *distribution* mode
    - Downstream-on-Demand (DoD) label distribution
    - Unsolicited Downstream (UD) label distribution
  - Label *retention* mode
    - Liberal Label Retention (LLR) mode
    - Conservative Label Retention (CLR) mode
  - LSP *control* mode
    - Independent LSP Control mode
    - Ordered LSP Control mode



# Table of Contents

- Evolución y arquitectura
- **Encaminamiento en MPLS**



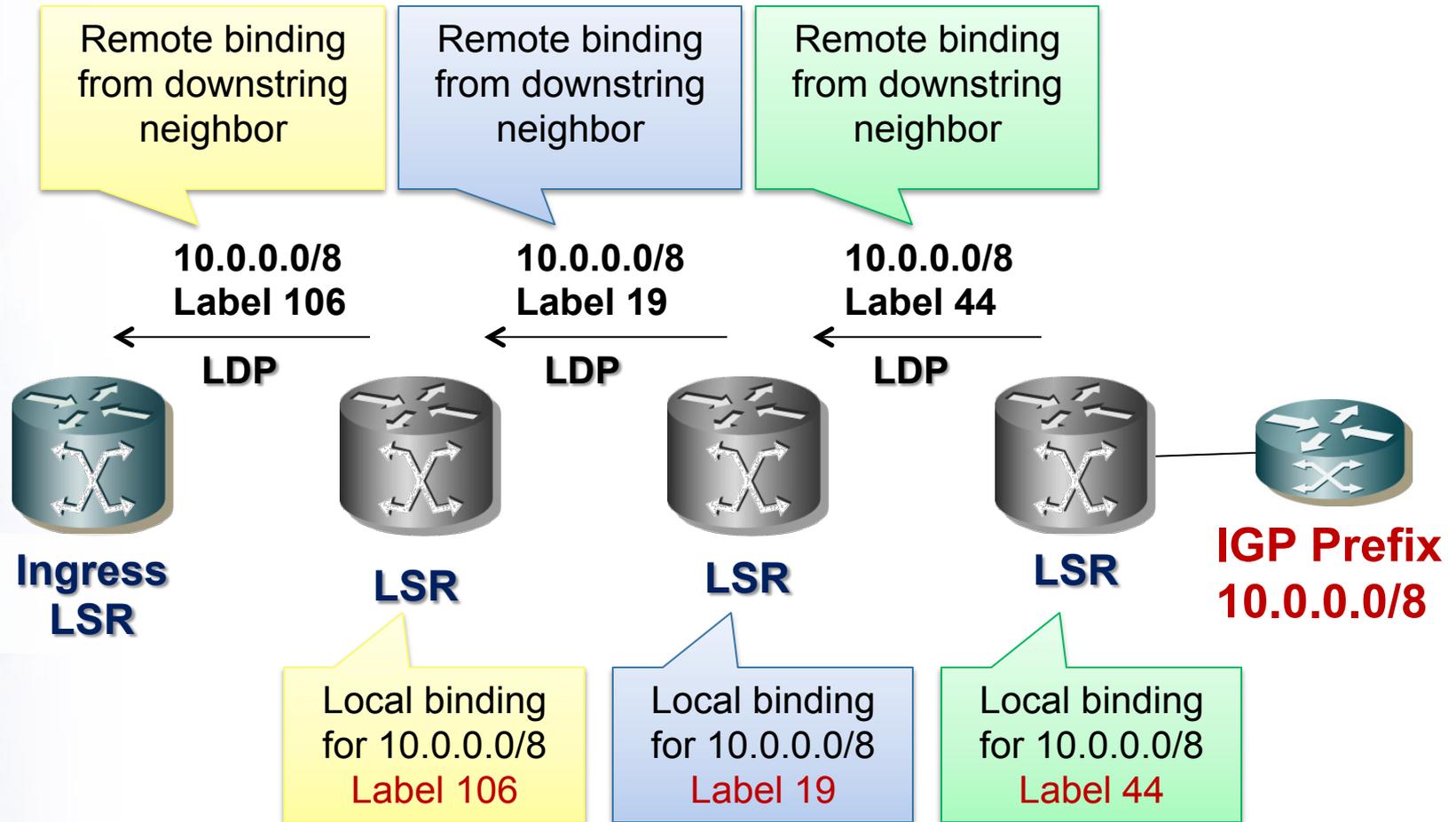
# Objetivos de la sección

- ✓ Explicar cómo se envían los paquetes etiquetados
- ✓ Nombrar las etiquetas MPLS reservadas y conocer para qué se utilizan
- ✓ Determinar la importancia del MTU de MPLS
- ✓ Explicar qué sucede con los paquetes etiquetados cuando expira su TTL
- ✓ Explicar qué sucede con los paquetes etiquetados que necesitan ser fragmentados



# Resumen MPLS

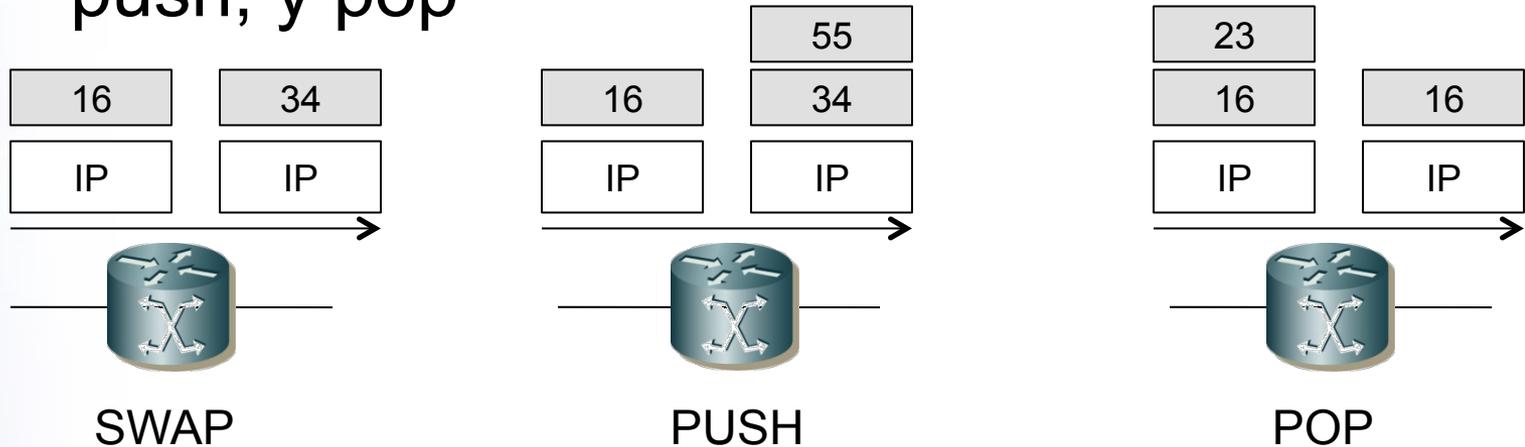
## Revisión





# Operaciones de etiquetas

- Posibles operaciones de etiquetas: swap, push, y pop

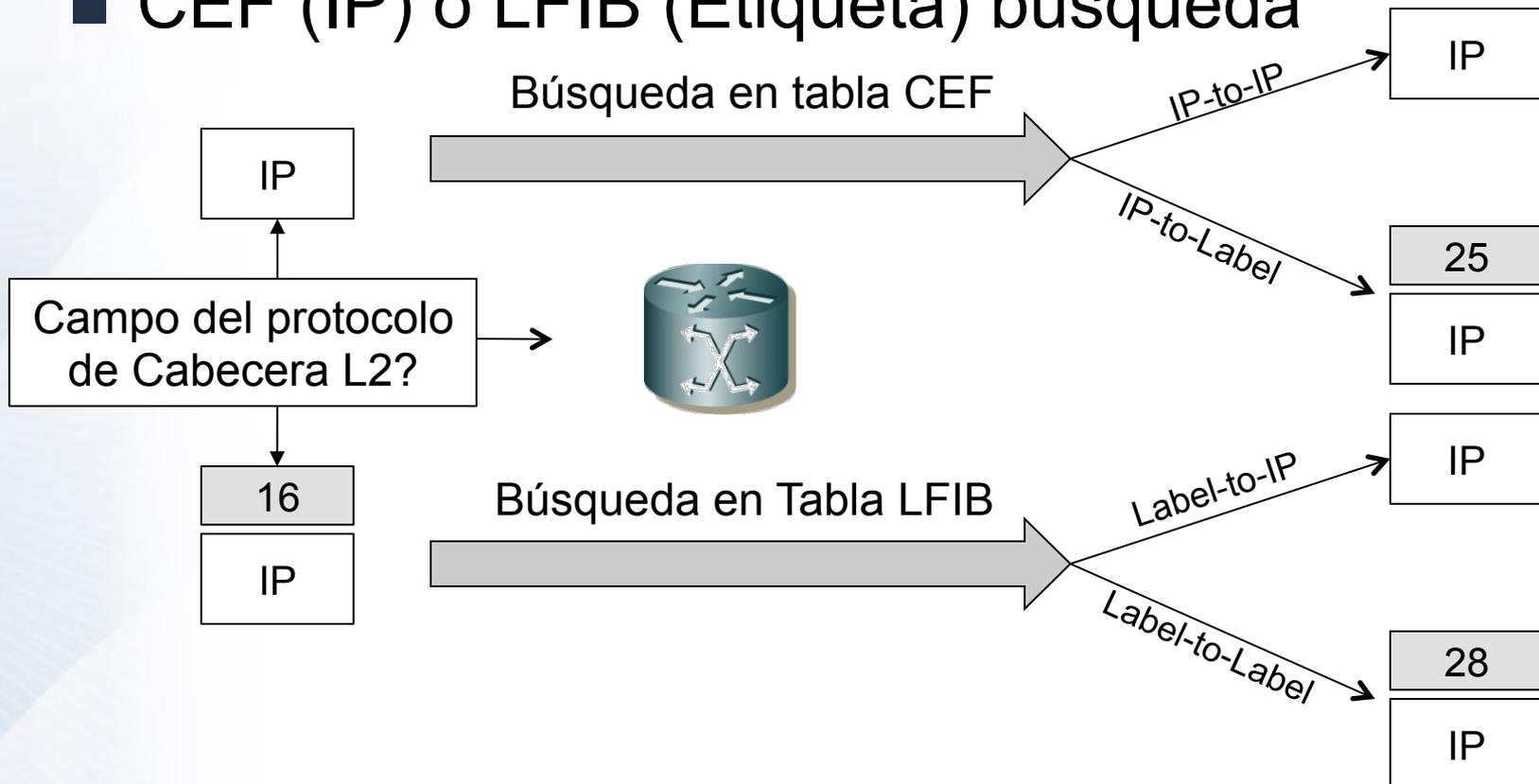


- El LSR lee los 20-bit de la etiqueta superior
  - Busca este valor en el LFIB,
  - Trata de encajar ese valor con el valor de su LIB



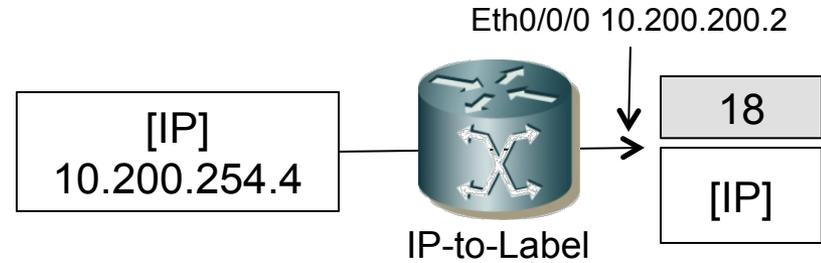
# IP vs búsqueda de etiquetas

## ■ CEF (IP) o LFIB (Etiqueta) búsqueda





# Ejemplo



## ■ CEF Table

```

router# show ip cef 10.200.254.4
10.200.254.4/32, version 44, epoch 0, cached adjacency 10.200.200.2 0 packets, 0 bytes
tag information set, all rewrites owned
  local tag: 20
  fast tag rewrite with Et0/0/0, 10.200.200.2, tags imposed {18}
via 10.200.200.2, Ethernet0/0/0, 0 dependencies
  next hop 10.200.200.2, Ethernet0/0/0
  valid cached adjacency
  tag rewrite with Et0/0/0, 10.200.200.2, tags imposed {18}

```

## ■ Extract of LFIB

```

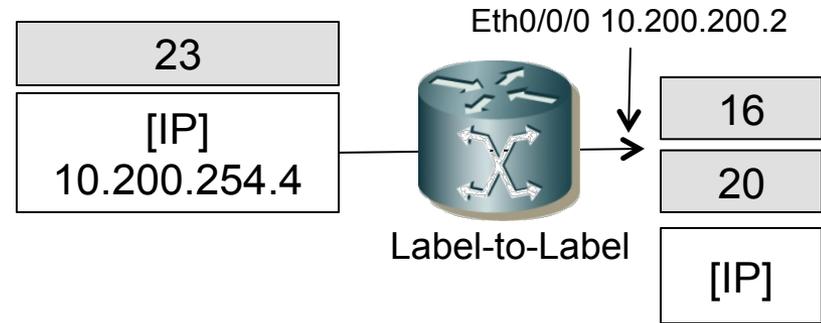
router# show mpls forwarding-table
Local      Outgoing  Prefix          Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag        tag or VC or Tunnel Id  switched   interface
16         Untagged  10.1.1.0/24     0          Et0/0/0      10.200.200.2
17         16        10.200.202.0/24 0          Et0/0/0      10.200.200.2
18         Pop tag   10.200.203.0/24 0          Et0/0/0      10.200.200.2
19         Pop tag   10.200.201.0/24 0          Et0/0/0      10.200.200.2
20         18        10.200.254.4/32 0          Et0/0/0      10.200.200.2
21         Pop tag   10.200.254.2/32 0          Et0/0/0      10.200.200.2
22         17        10.200.254.3/32 0          Et0/0/0      10.200.200.2

```



# Ejemplo

## MPLS tabla de envío



```
router#show mpls forwarding-table 10.200.254.4
```

Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
23	16	[T] 10.200.254.4/32	0	Tu1	point2point

[T] Forwarding through a TSP tunnel.

```
router#show mpls forwarding-table 10.200.254.4 detail
```

Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
23	16	10.200.254.4/32	0	Tu1	point2point

MAC/Encaps=14/22, MRU=1496, **Tag Stack{20 16}**, via Et0/0/0  
00604700881D00024A4008008847 0001400000010000

No output feature configured

```
router#show mpls forwarding-table vrf cust-one
```

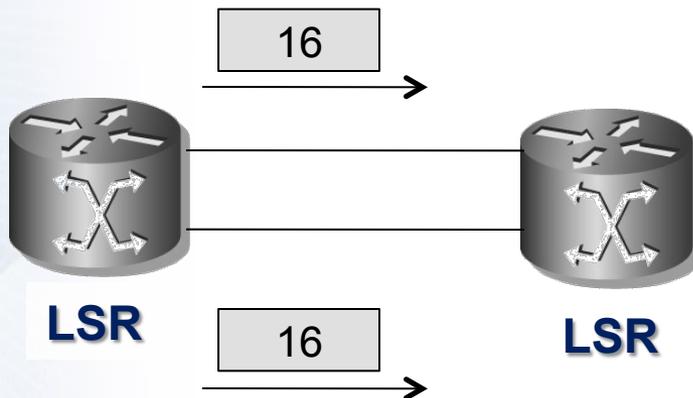
Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
23	<b>Aggregate</b>	10.10.1.0/24[V]	0		



# Balanceado de carga

router#show mpls forwarding-table

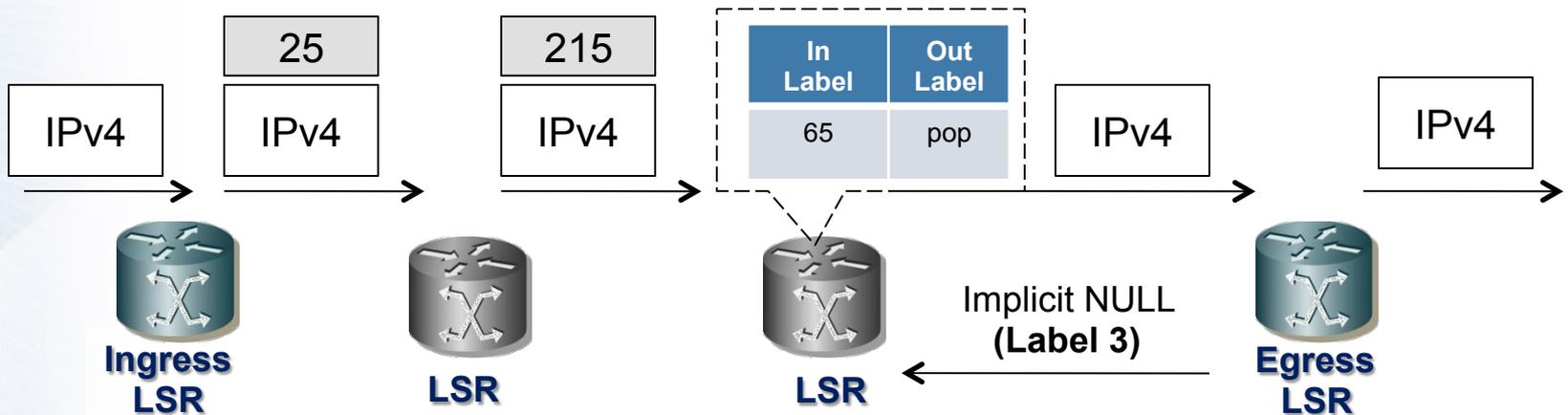
Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes switched	Outgoing interface	Next Hop
17	Pop tag	10.200.254.3/32	252	Et1/3	10.200.203.2
	Pop tag	10.200.254.3/32	0	Et1/2	10.200.201.2
18	16	10.200.254.4/32	10431273	Et1/2	10.200.201.2
	16	10.200.254.4/32	238	Et1/3	10.200.203.2





# Etiqueta implícita Null

- Etiquetas de 0 a 15 reservadas,
  - Etiqueta Implícita null: valor “3”
- Usada por el LSR que no quiere asignar una etiqueta a un FEC
- En routers de salida evita la búsqueda





# Etiqueta Null Explícita

- Usando la etiqueta Null Implícita
  - La cabecera MPLS se elimina un salto antes
  - EXP bits (QoS) se borran
- Usando la etiqueta Null Explícita (etiqueta con valor “0”)
  - El paquete conserva la etiqueta (valor 0)
  - La etiqueta 0 se eliminará sin realizar búsquedas
  - Los Bits EXP se mantendrán



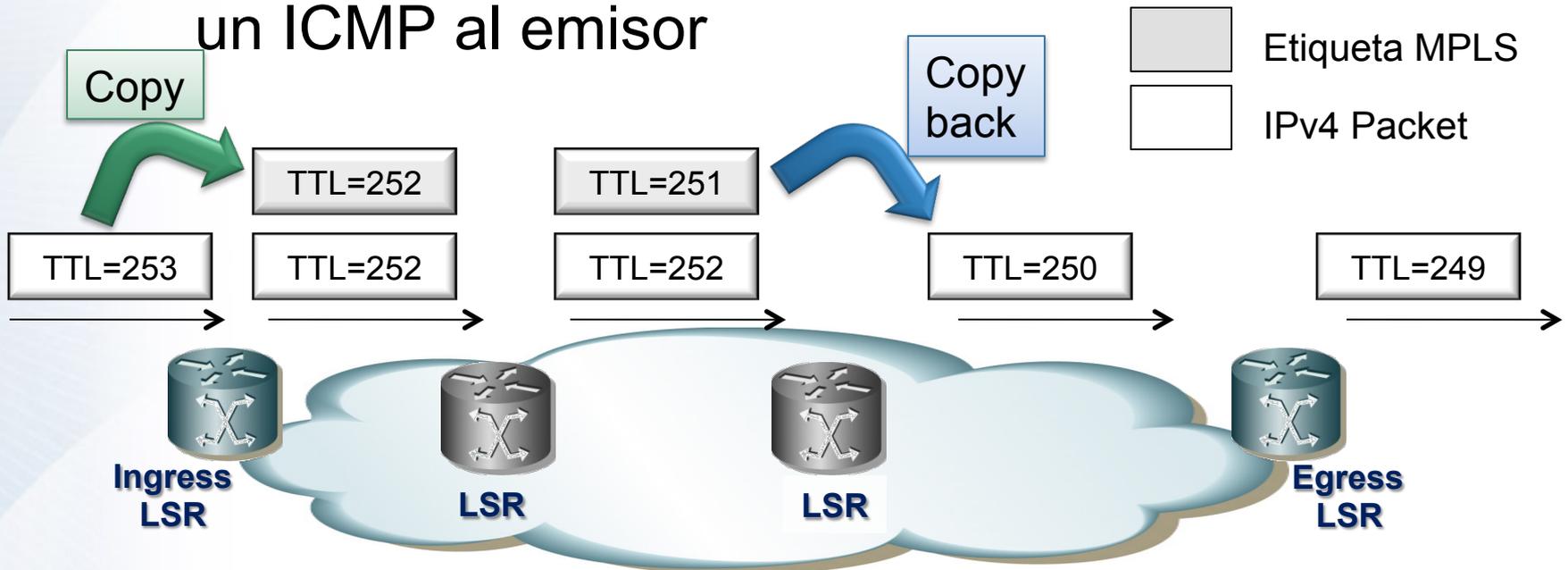
# Etiquetas no reservadas

- Las etiquetas tienen 20 bits [16,1.048.575]
- Algunos routers (e.g. Cisco) usan 16-100.000
  - Suficientes para etiquetar todos los prefijos IGP
  - Para los prefijos en BGP se necesitan etiquetas adicionales



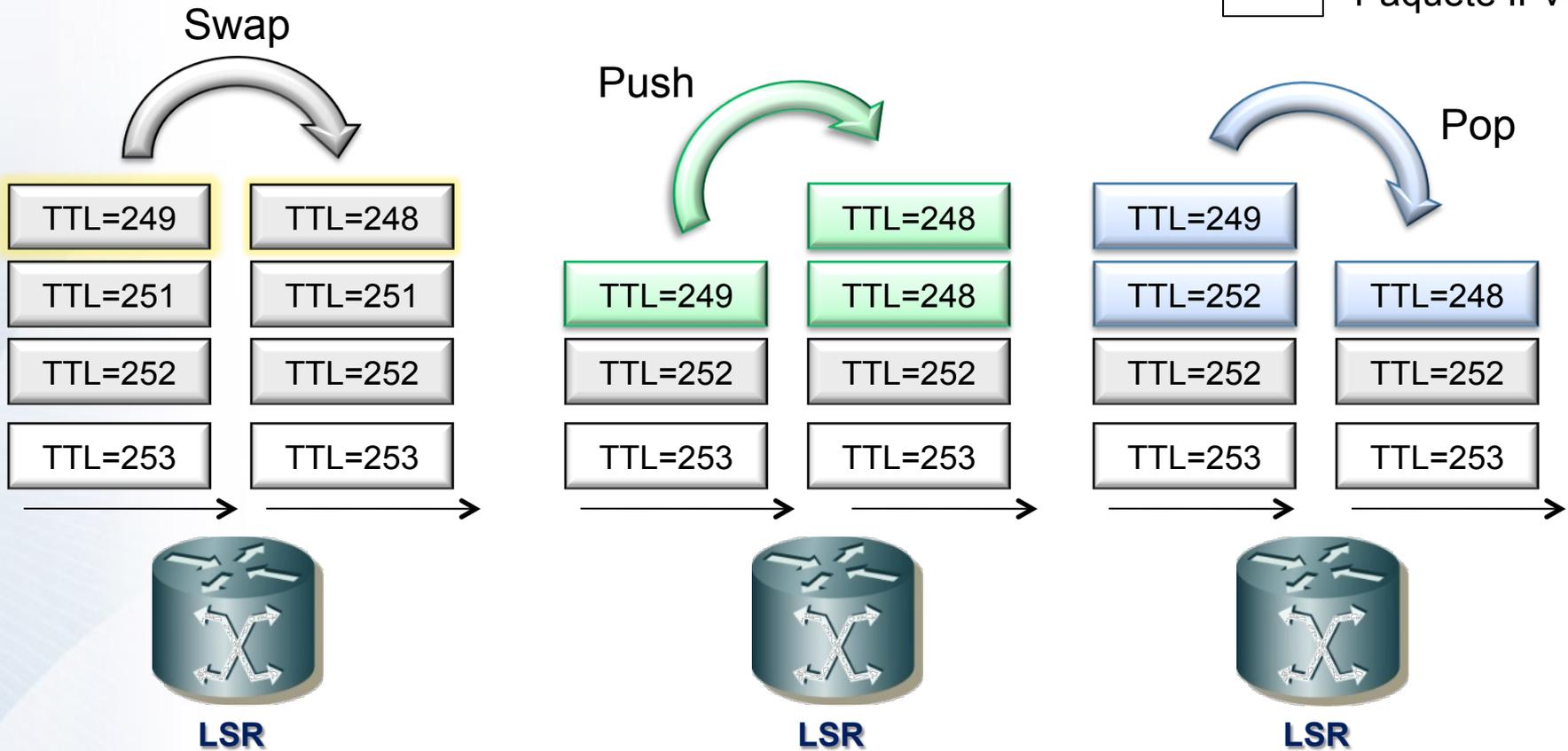
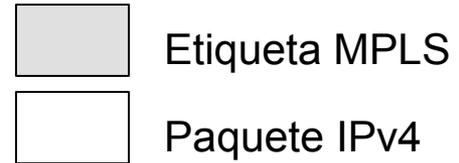
# IP-a-Etiqueta & Etiqueta-a-IP

- TTL: Time to Live
  - 8 bits field (max.255 hops)
  - Si TTL = 0 el paquete se descarta y se envía un ICMP al emisor





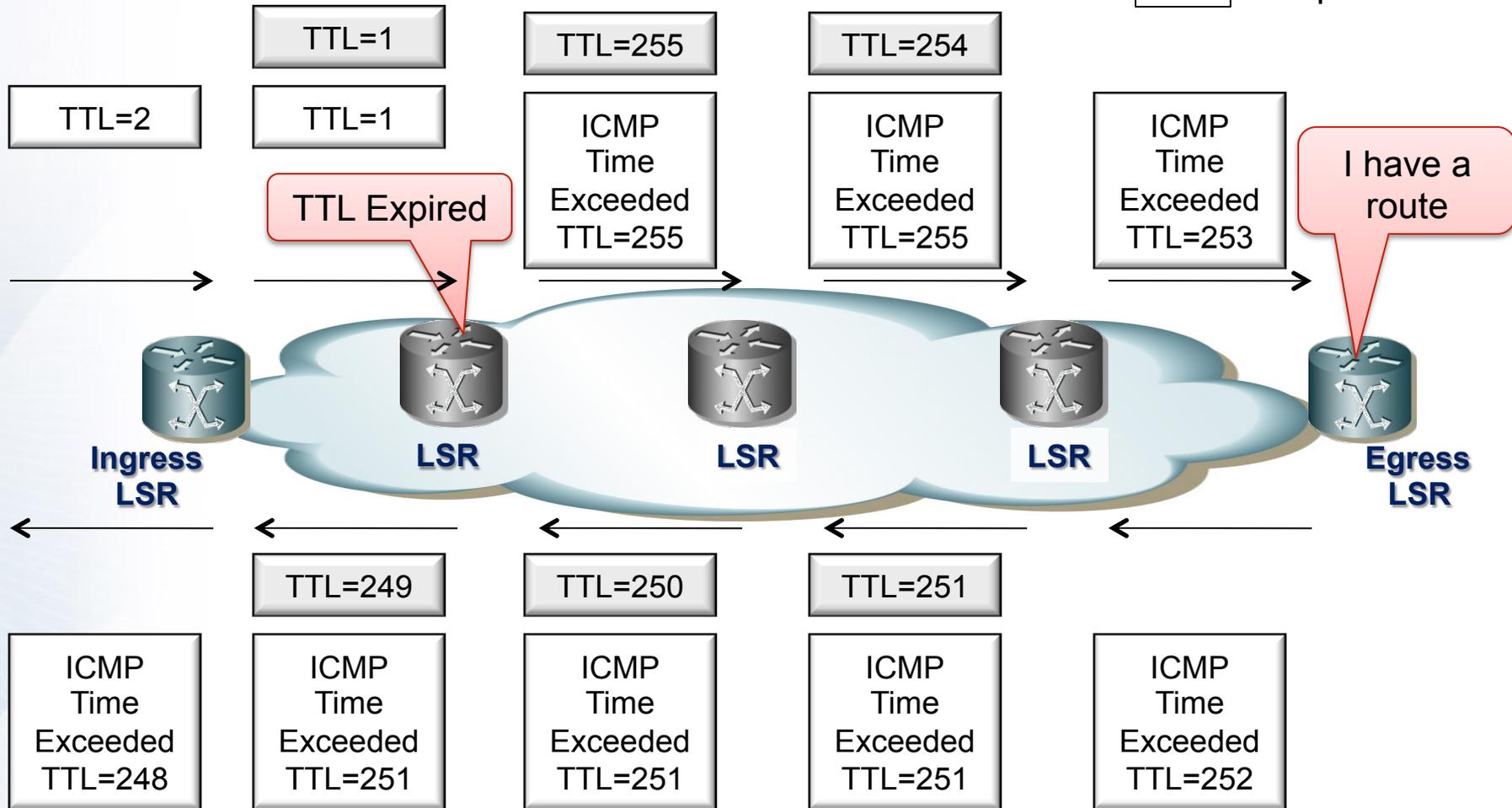
# TTL Etiqueta-a-Etiqueta





# Expiración TTL

Etiqueta MPLS  
Paquete IPv4





# MPLS MTU

- Máxima Unidad de Transmisión (MTU)
  - Máximo tamaño de frame que puede ser enviado por un enlace de datos sin fragmentarlo
- MPLS frames son mayores que en IP
  - Paquete IP + (4 bytes \* #etiquetas)
- MPLS Maximum Receive Unit (Máxima unidad de recepción)
  - Usado en el LFIB para hacer un seguimiento de lo grandes que pueden ser los paquetes etiquetados



# Tramas *Baby Giant*

## ■ Descripción

- Tramas ligeramente más grandes de lo esperado para cierto enlace de datos (e.g. Ethernet frame (1500 bytes) + 1 Etiqueta (4 bytes))
- Si el hardware es capaz se puede permitir el envío de este tipo de frames

## ■ Descubrimiento de MTU

- Para descubrir el MTU permitido para un camino
- Para evitar la fragmentación y aumentar el rendimiento.

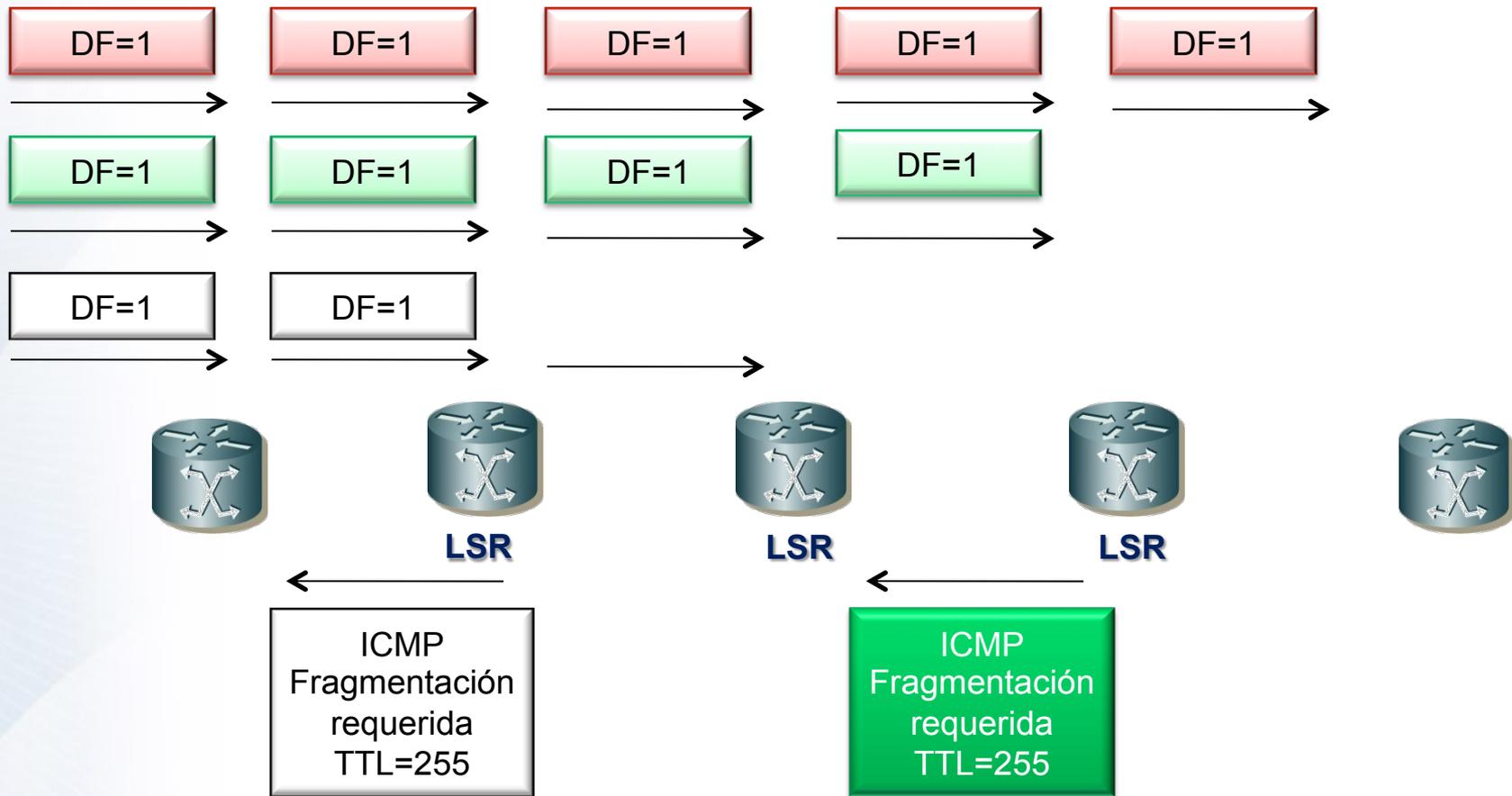


# Fragmentación en MPLS

- Tramas mayores que MTU → fragmentación
- Fragmentación
  - Elimina toda la pila MPLS
  - Fragmenta el paquete IP
  - Realiza operaciones sobre la pila
  - Añade la etiqueta de la pila a todos los fragmentos
- Si DF = 1 en la cabecera IP
  - Se descarta el paquete y se envía un mensaje ICMP



# MTU Descubrimiento de camino





# Table of Contents

- Evolution of MPLS
- MPLS Architecture
- Forwarding Labeled Packets
- **Review Test**



# Cuestiones cortas de test

1. Cuántas etiquetas MPLS puede haber en una pila (*stack*) de etiquetas sobre un paquete IP?
2. Con qué capa del modelo de referencia OSI se identifica MPLS?
3. Qué tabla utilizan los LSR para enviar paquetes etiquetados?



# Test

- 1. Cuántos octetos hay en la cabecera de una etiqueta MPLS?**
  - A. 1
  - B. 2
  - C. 3
  - D. 4
- 2. En que consiste la técnica de *Time Division Multiplexing* (TDM)?**
  - A. Consiste en enviar en paralelo varios canales de datos utilizando diferentes rangos de frecuencia
  - B. Consiste en encapsular los datos y añadirles señales de sincronismo antes de ser enviados
  - C. Dividir el canal de señalización y el canal de datos formando canales B y D
  - D. Combinar diferentes canales, enviándolos por turnos en sub-canales aparentemente simultáneamente en un solo canal de comunicación



# Test

### 3. Indica cuáles de los siguientes fueron problemas de PDH (selección múltiple)

- A. Solo permitía desencapsular niveles consecutivos de la jerarquía PDH
- B. No hay compatibilidad entre E1-T1, o E2-T2, etc
- C. No fueron diseñados inicialmente para funcionar sobre fibra óptica
- D. No permitía transportar diferentes conexiones de voz simultáneamente

### 4.Cuál es la función de un ADM en una red SONET/SDH?

- A. Realizar el enrutamiento de tráfico
- B. Crear canales virtuales para la comunicación entre pares
- C. Intercalar o extraer tramas de un nivel inferior en uno superior
- D. Realiza las mismas tareas que un switch, pero en una red de fibra óptica



# Test

## 5. Los LSP (Label Switched Path) son

- A. Unidireccionales
- B. Bidireccionales
- C. Ninguno de los dos

## 6. Qué topología se utiliza comúnmente en SONET/SDH?

- A. Topología en estrella
- B. Topología punto a punto
- C. Topología en anillo
- D. Topología de malla de conexión total (full-mesh)



# Test

## 7. Qué ventajas ofrece POS frente a SONET/SDH? (selección múltiple)

- A. Permite eliminar parte del equipamiento de red, por ejemplo los ADMs
- B. Consigue recuperar de forma muy rápida (50ms) la red ante fallos
- C. Hace un uso más eficiente de los enlaces
- D. El tráfico siempre circula por el camino más corto