

Tema 2-1: Tecnología de comunicación por etiquetas

Introducción

Índice

- ◆ Introducción a la commutación de etiquetas
- ◆ Modelos de red IP/ATM
- ◆ MPLS estándar
- ◆ Aplicaciones de MPLS

Introducción

- ◆ MPLS (MultiProtocol Label Switching) estándar de conmutación de etiquetas
- ◆ La idea de la conmutación de etiquetas surge a principios de los 90
- ◆ Las redes de usuario empezaron a ser IP/Ethernet a 10 Mbps
- ◆ Los proveedores empezaron a migrar las redes de acceso a redes IP y a tener problemas al agregar el tráfico de los usuarios en el parte del núcleo de su red
- ◆ Para aumentar la capacidad las soluciones en ese tiempo, eran líneas E3 34 Mbps o ATM a 155 Mbps

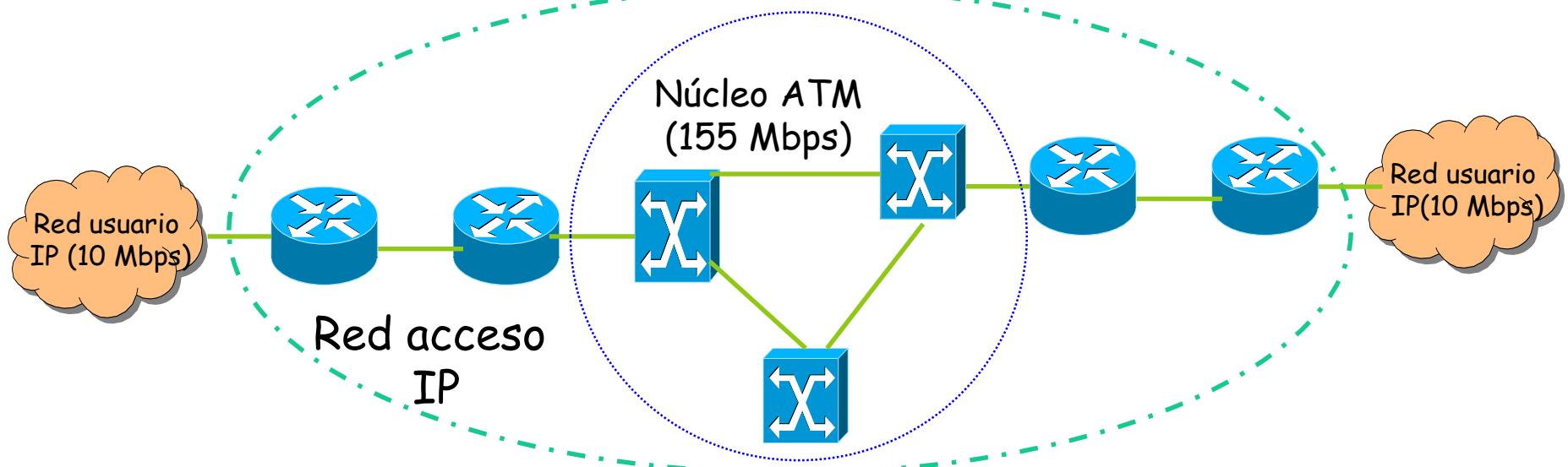
Convergencia: IP y ATM (Cont.)



Router IP



Comutador ATM



Introducción

- ◆ Esto llevó a tener que dos redes diferentes con problemas de integración
 - IP es no conectiva de nivel 3
 - ATM es conectiva de nivel 2
- ◆ MPLS consiguió integrar IP y ATM además de facilitar el despliegue de servicios de red y abaratizar su administración
- ◆ Esto permitió la implementación de MPLS en el núcleo de red de todos los operadores

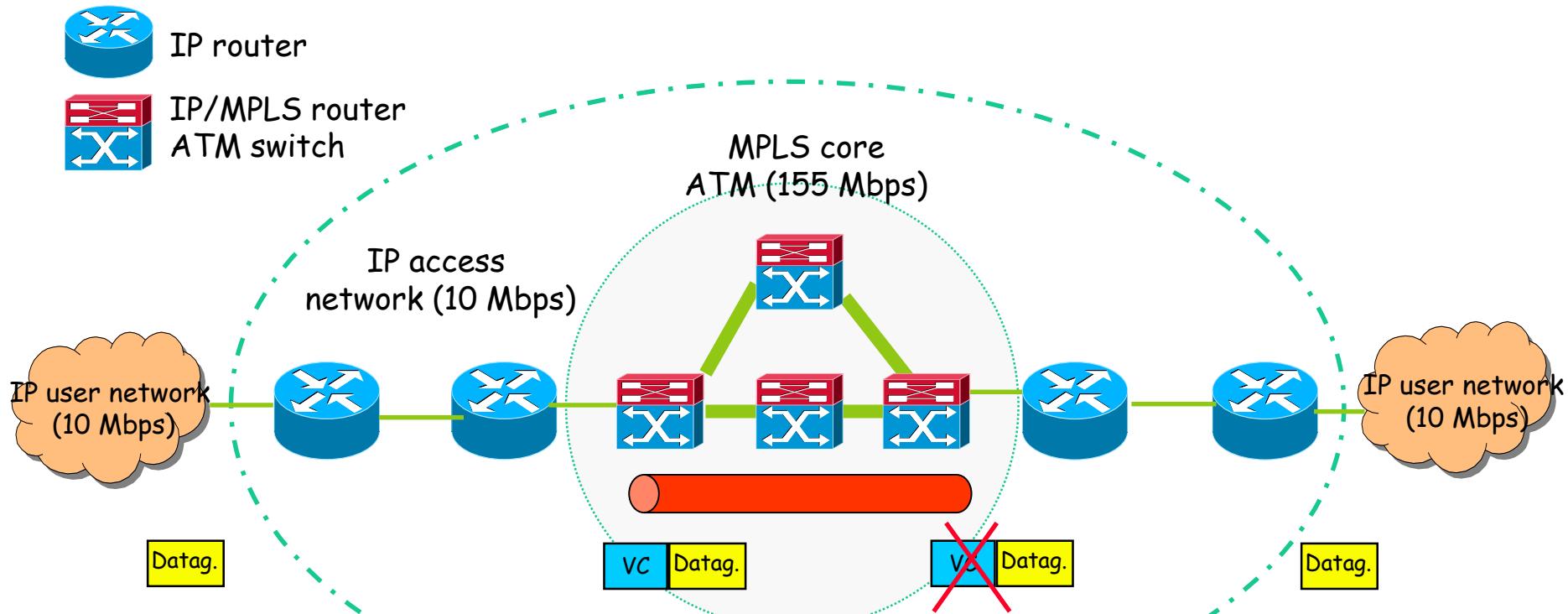
Introducción

- ◆ Después hubo una pugna entre ATM y Ethernet que termina cuando ATM toca su el techo en 2,5 Gbps
- ◆ Ethernet vence por velocidad (el techo actual es 100 Gbps) sencillez y precio
- ◆ Como veremos más adelante, el cambio de ATM por Ethernet queda amortiguado por MPLS
- ◆ En el futuro la capa de enlace será óptica y será gestionada por Generalized MPLS
- ◆ Por tanto, MPLS es una tecnología con pasado presente y futuro

Introducción

- ◆ El objetivo inicial de MPLS es la integración IP/ATM en redes troncales
- ◆ Es un híbrido entre redes conectivas y no conectivas, tomando lo mejor de cada una
 - Conectivas, conmutación es más rápida que el encaminamiento
 - No conectivas, IP tiene buena escalabilidad y es el protocolo estándar
- ◆ Para ello cuando llega un datagrama IP al nodo frontera MPLS es aceptado, como si fuese una red IP, y después este nodo le introduce una cabecera con una etiqueta con la misma función que el campo circuito virtual en las redes conectivas

MPLS scenario



Introducción (Cont.)

- ◆ El objetivo inicial de MPLS es la integración IP/ATM escalable en redes troncales
- ◆ En MPLS los datagramas se comutan en vez de encaminar
 - Los nodos internos consultan la etiqueta no la dirección IP destino
- ◆ El nodo frontera, inserta una etiqueta que servirá para que el paquete circule, por un “circuito” preestablecido dentro de la red MPLS, hacia su destino
- ◆ Los “circuitos” están preestablecidos automáticamente al arrancar la red y no se cierran
- ◆ El último MPLS nodo, antes de salir de la red, suprime la etiqueta insertada
- ◆ MPLS es transparente a las redes y aplicaciones existentes

Introducción (Cont.)

- ◆ MPLS reduce el procesamiento de los mensajes
- ◆ En un router IP el procesamiento de un datagrama es:
 1. Comprobar errores
 2. Detectar bucles de red (TTL)
 3. [Procesar opciones de cabecera, fragmentación]
 4. Extraer la dirección destino del datagrama
 5. Buscar en la tabla de encaminamiento por donde reenviar el datagrama
 6. Reenviar el datagrama por el interfaz indicado en dicha tabla

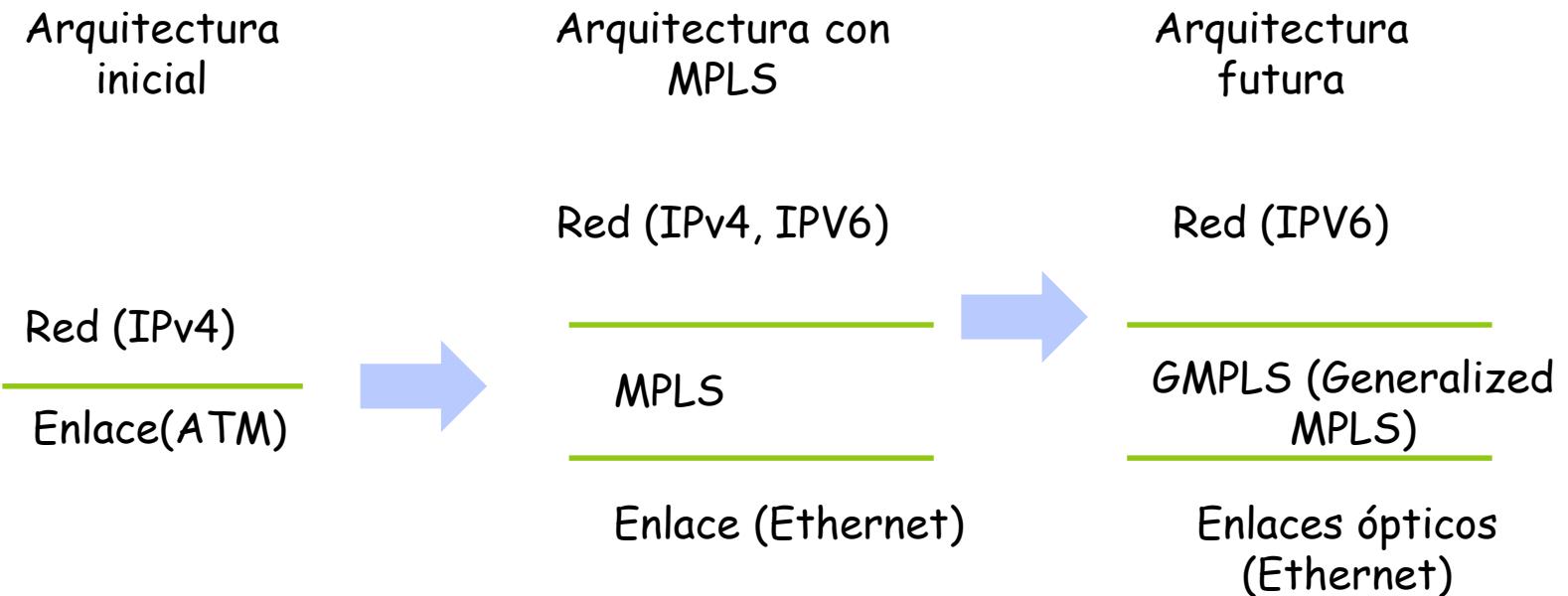
Introducción

- ◆ El procesamiento en un nodo MPLS se reduce a:
 1. Acceder a una etiqueta, situada en las cabeceras de bajo nivel
 2. Buscar en una tabla por donde reenviar el paquete.
- ◆ No hay que acceder a la cabecera de red, ahorro de tiempo y más capacidad de reenvío de tráfico

Introducción (Cont.)

- ◆ En la arquitectura de red, MPLS se inserta como una capa entre la capa de red y la de enlace, (ver siguiente transparencia)
- ◆ Esto implica insertar una cabecera MPLS (con la etiqueta y otros campos) entre la cabecera de la capa de red y la capa de enlace
- ◆ MPLS Puede funcionar con cierta independencia de la capa de red y de enlace, por lo que es un protocolo con futuro
 - Muy importante por ser una inversión estable, tanto en equipos electrónicos, en formación de personal, en configuración y estructura de red
 - El cambiar la versión de IP puede suponer aplicar un parche al nodo
 - El cambiar a una capa de enlace más rápida (eg Ethernet de 10 a 100 Mbps), puede suponer cambiar tarjetas de equipo, o el equipo (de ATM a Ethernet) pero no hay cambios a nivel red

Convergencia: IP y ATM (Cont.)



Introducción (Cont.)

- ◆ Al principio la red IP y ATM funcionaban de forma independiente, lo que tenía varios problemas, el principal es el configuración y administración de red
- ◆ El peor caso se da cuando se conecta un nuevo nodo IP al núcleo ATM, implica
 - Abrir nuevas conexiones ATM del nodo frontera al resto de nodos frontera ATM del núcleo
 - Estas conexiones se abren de forma manual por los administradores de red ATM
 - Configurar los nodos IP frontera para que tenga visión IP con el nuevo nodo, por parte de los administradores de red IP
 - Tienen que intervenir dos equipos de administradores con el coste económico y de coordinación

Introducción (Cont.)

- ◆ Con MPLS se integran IP y ATM
- ◆ Si hay que conectar un nodo IP al núcleo ATM es más fácil ágil y económico, ya que
 - ATM funciona de forma subordinada a la IP a través de MPLS
 - Las conexiones ATM necesarias se abren por orden de MPLS que a su vez consulta la tabla de rutas de IP para abrir conexiones a los destinos IP
 - Salvo la configuración inicial IP en los nodos frontera IP y ATM, todo el **proceso** es **automático**
 - Así sólo hay que administrar una red (IP), ahorro importante en costes y tiempo de despliegue
 - El equipo de administración de ATM se puede dedicar a otras tareas

Introducción (Cont.)

- ◆ Ventajas de MPLS para un proveedor
 - ◆ Reducción de costes de operación y gestión
 - ◆ Incremento de la productividad y beneficios
 - ◆ La reducción de costes se puede trasladar a los usuarios, aumentando su número y satisfacción
 - ◆ Nuevos servicios soportados por MPLS (QoS, recuperación rápida, etc)

Índice

- ◆ Introducción a la conmutación de etiquetas
 - ◆ Modelos de red IP/ATM
- ◆ MPLS estándar
- ◆ Aplicaciones de MPLS

Convergencia: IP y ATM

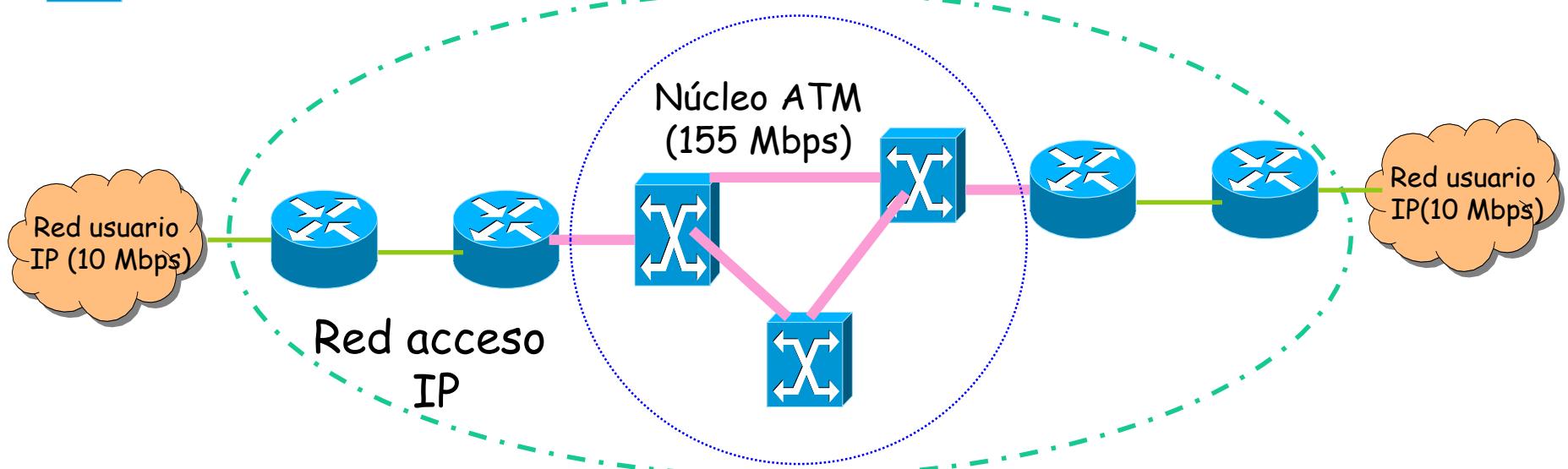


Router IP



Comutador ATM

Enlace ATM



Convergencia: IP y ATM (Cont)

- ◆ Hay dos modelos para conectar la red troncal con el resto de la red del proveedor:
Superpuesto (Overlay) y Acoplado
- ◆ **Superpuesto**, el inicial, ATM no integrado con IP
 - Routers frontera con la red troncal formada por routers IP
 - Red troncal con conmutadores ATM de nivel 2
 - El encaminamiento entre los routers frontera conectados al núcleo no efectivo, intercambian rutas todos con todos
 - Ref Alwayn pg 38

Modelo IP/ATM superpuesto

PVC, ATM Permanent Virtual Circuit

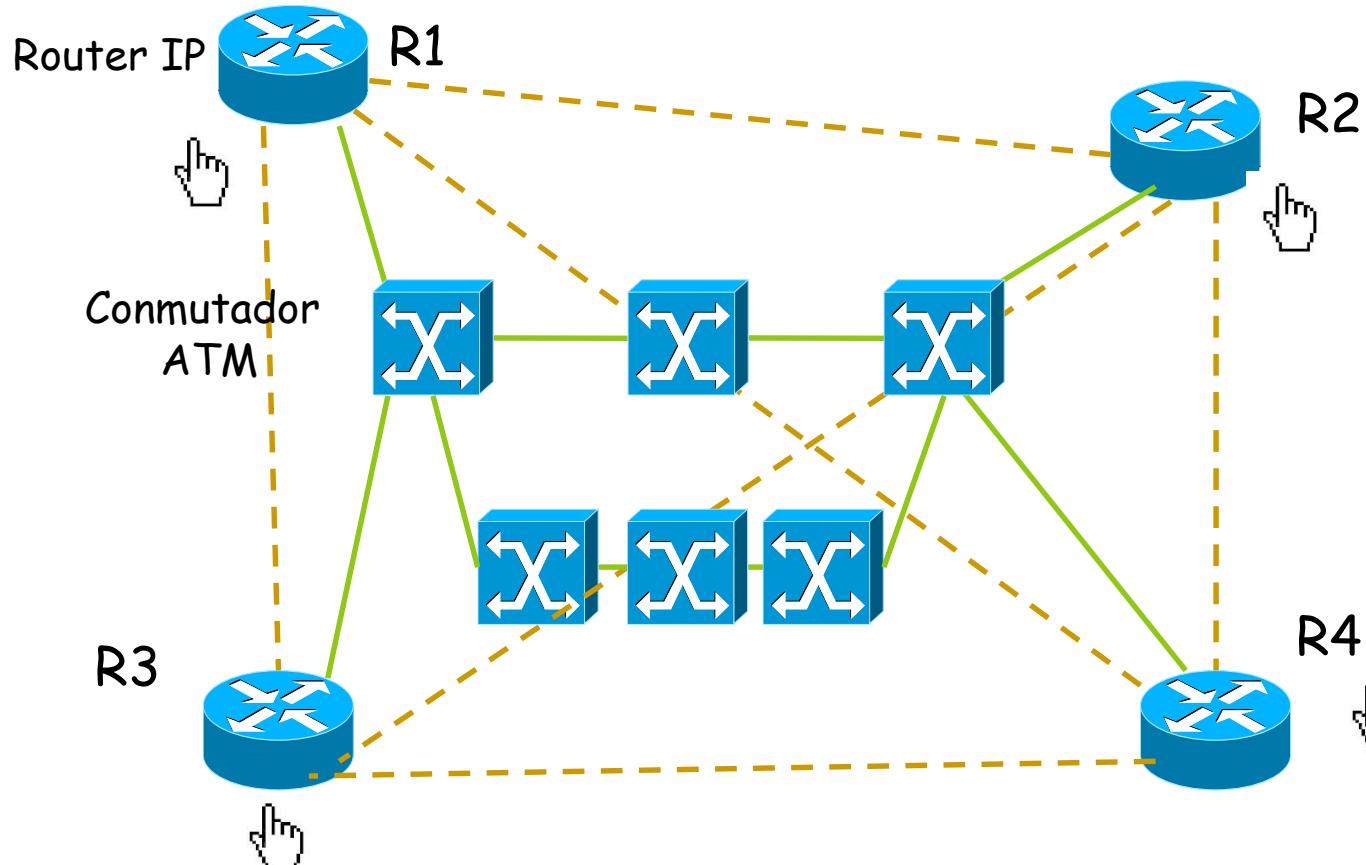
Router IP frontera del núcleo



significa punto de configuración manual

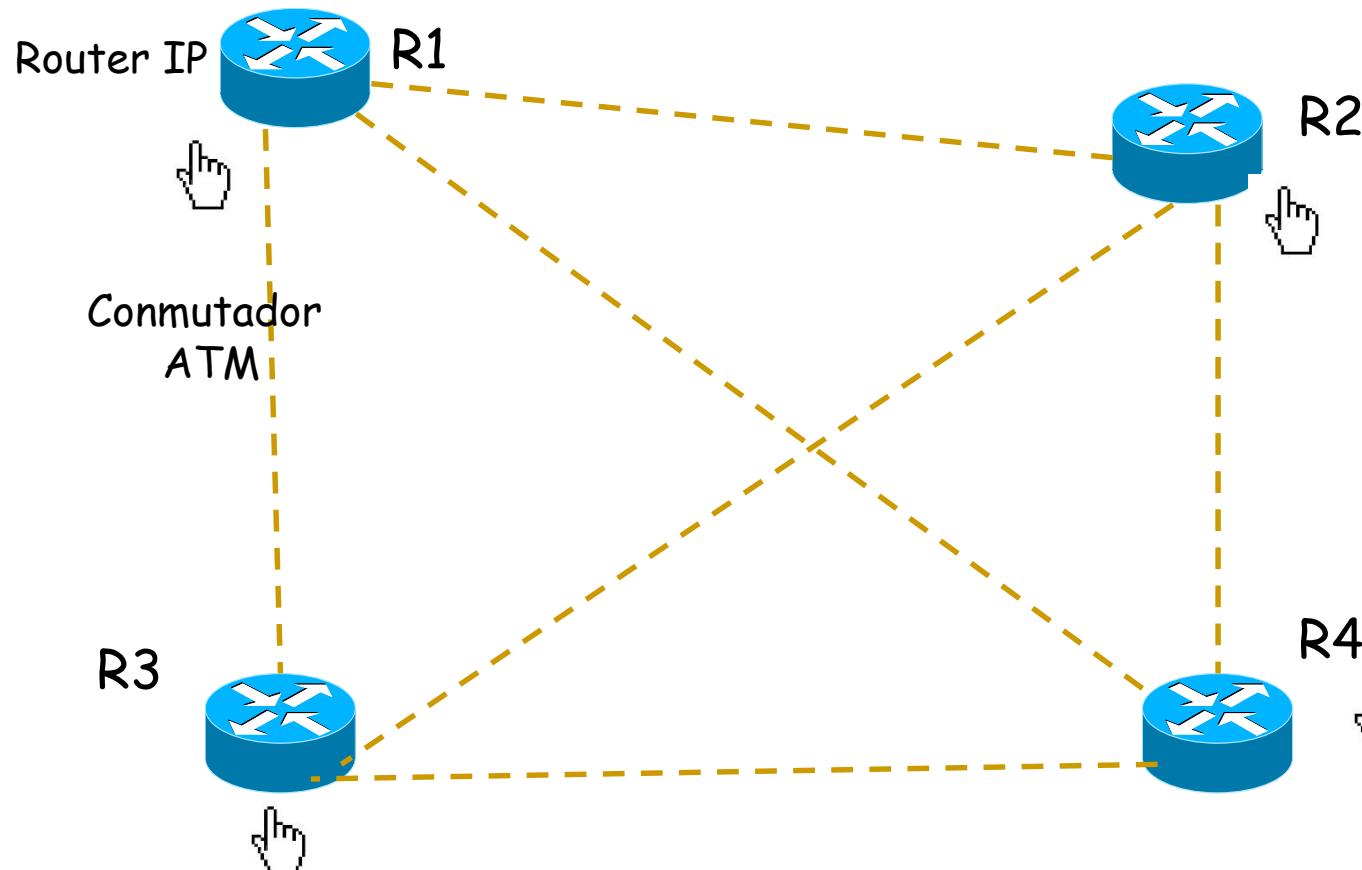


Comutador ATM



Modelo IP/ATM superpuesto; vista según el encaminamiento IP

PVC, ATM Permanent Virtual Circuit



Modelo IP/ATM superpuesto (overlay)

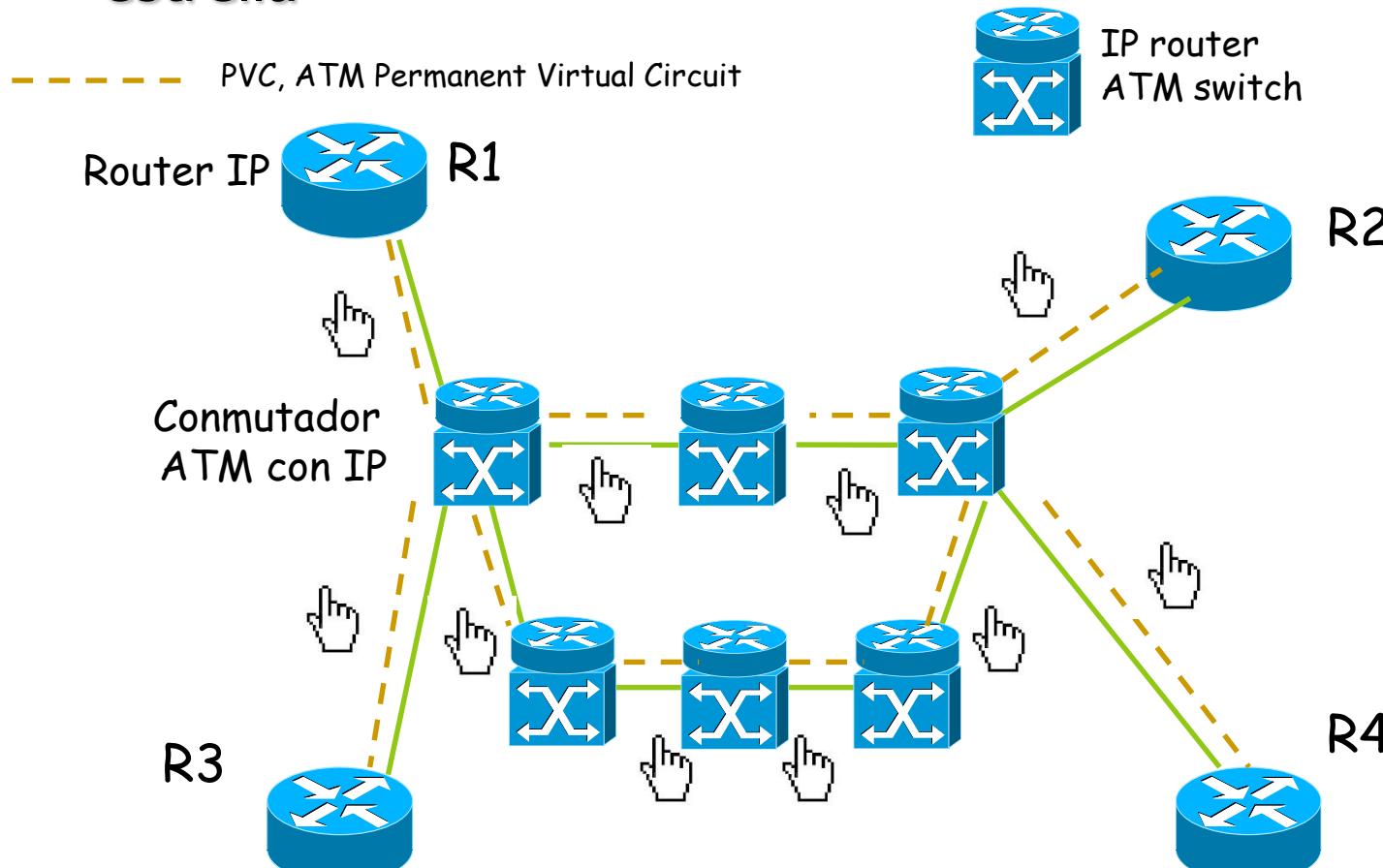
- ◆ Para que los routers IP frontera se pueden comunicar a través de la red troncal ATM de nivel 2, hay que abrir conexiones ATM permanentes (PVCs) entre cada uno de ellos (**topología en malla**)
- ◆ Los administradores IP deben pedir a los administradores ATM que abran estas conexiones, la apertura es a **MANO**
- ◆ Además el número de PVC crece al ritmo de **$n(n-1)/2$** , siendo n el número de routers frontera IP
 - Esto tiene problemas de escalabilidad y muchos costes
- ◆ Problema secundario, el que todos los routers frontera IP hablen directamente entre sí, genera mucho tráfico en los anuncios de rutas OSPF (protocolo de encaminamiento IP) (en torno a **n^4** mensajes)
 - ◆ Ref Alwayn pg 182

Aproximación al modelo acoplado

- ◆ Para reducir el número de PVC ATM y de tráfico de encaminamiento se convierten los conmutadores ATM a routers IP (ver siguiente figura)
- ◆ Se reduce el número de PVCs al número de enlaces ATM de la red, para que haya conectividad entre todos los routers IP (incluyendo también a los ATM/IP)
 - Estos PVCs iniciales permiten la comunicación y crear circuitos virtuales adicionales

Aproximación al modelo acoplado (Cont.)

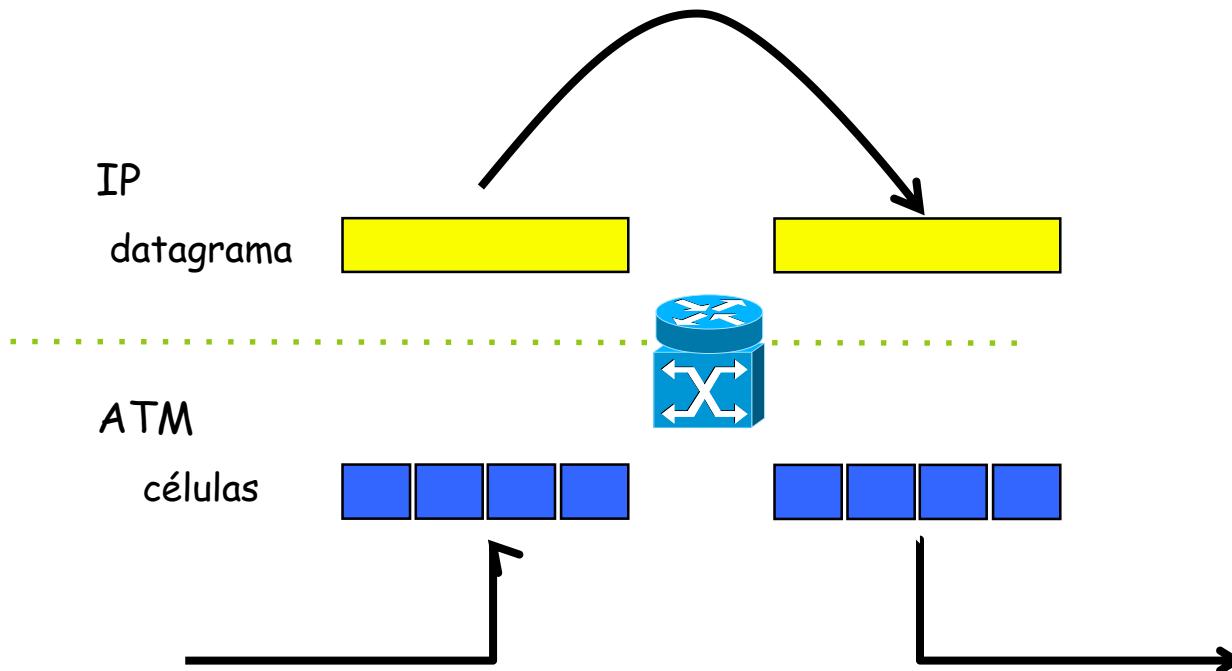
- ◆ Cambia la topología de conexión del núcleo de malla a estrella



Aproximación al modelo acoplado

- ◆ Hay un último problema, la retransmisión en nodo IP/ATM se hace a nivel 3, esto implica que cada datagrama se fragmenta y reensambla en células ATM por lo que
 - Se reduce la velocidad máxima y aumenta el retardo (hasta que no llega la última célula de un datagrama no se puede reenviar)
 - Ver figura siguiente transparencia
- ◆ La solución, hacer la retransmisión a nivel 2 (con MPLS)

Aproximación al modelo acoplado (Cont.); reenvío



Modelo IP/ATM acoplado (MPLS)

- ◆ **Modelo acoplado**, integración de ATM/IP con MPLS
 - Routers frontera con la red troncal formada por routers IP, esto no cambia
 - Red troncal, con nodos ATM parcheados para que sean también nodo IP y MPLS (ventaja, el hardware de los equipos no cambian)
 - El encaminamiento entre los routers frontera conectados al núcleo más efectivo, intercambian rutas sólo con el nodo ATM/MPLS/IP del núcleo al que se conecta

Modelo IP/ATM acoplado

- ◆ Los routers MPLS son también routers IP
- ◆ En este modelo cada router IP sólo es adyacente a un router MPLS
- ◆ Inicialmente hay que abrir a mano los n PVCs entre los routers MPLS frontera y los routers IP
- ◆ Despues MPLS abre el resto de circuitos dentro del núcleo automáticamente, (ya veremos como)
- ◆ La retransmisión se hace a nivel 2 haciendo que los circuitos virtuales MPLS vayan sobre los circuitos virtuales ATM

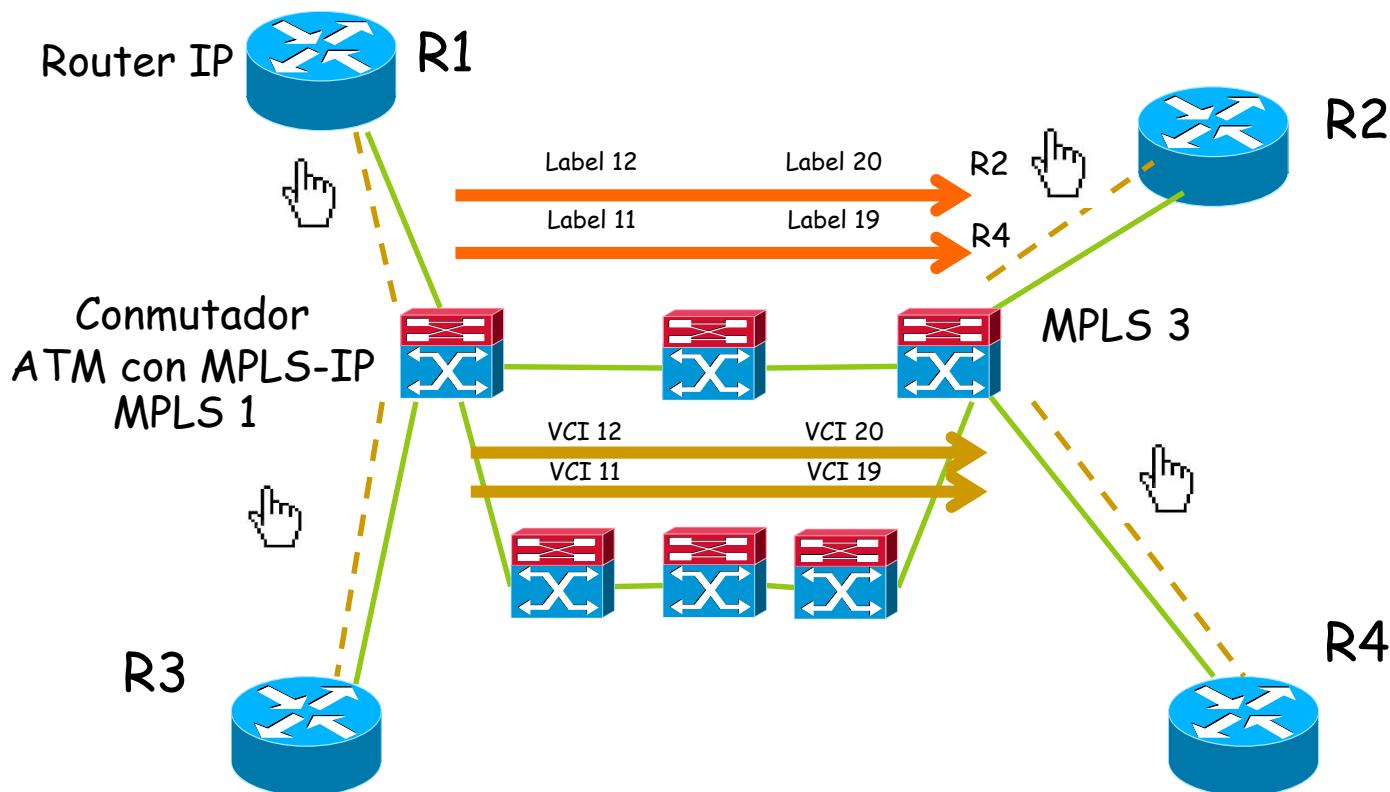
Modelo IP/ATM acoplado



PVC, ATM Permanent Virtual Circuit, manual
SVC, ATM Switch Virtual Circuit, automatic
LSR, MPLS Label Switch Path, automatic



IP/MPLS router
ATM switch



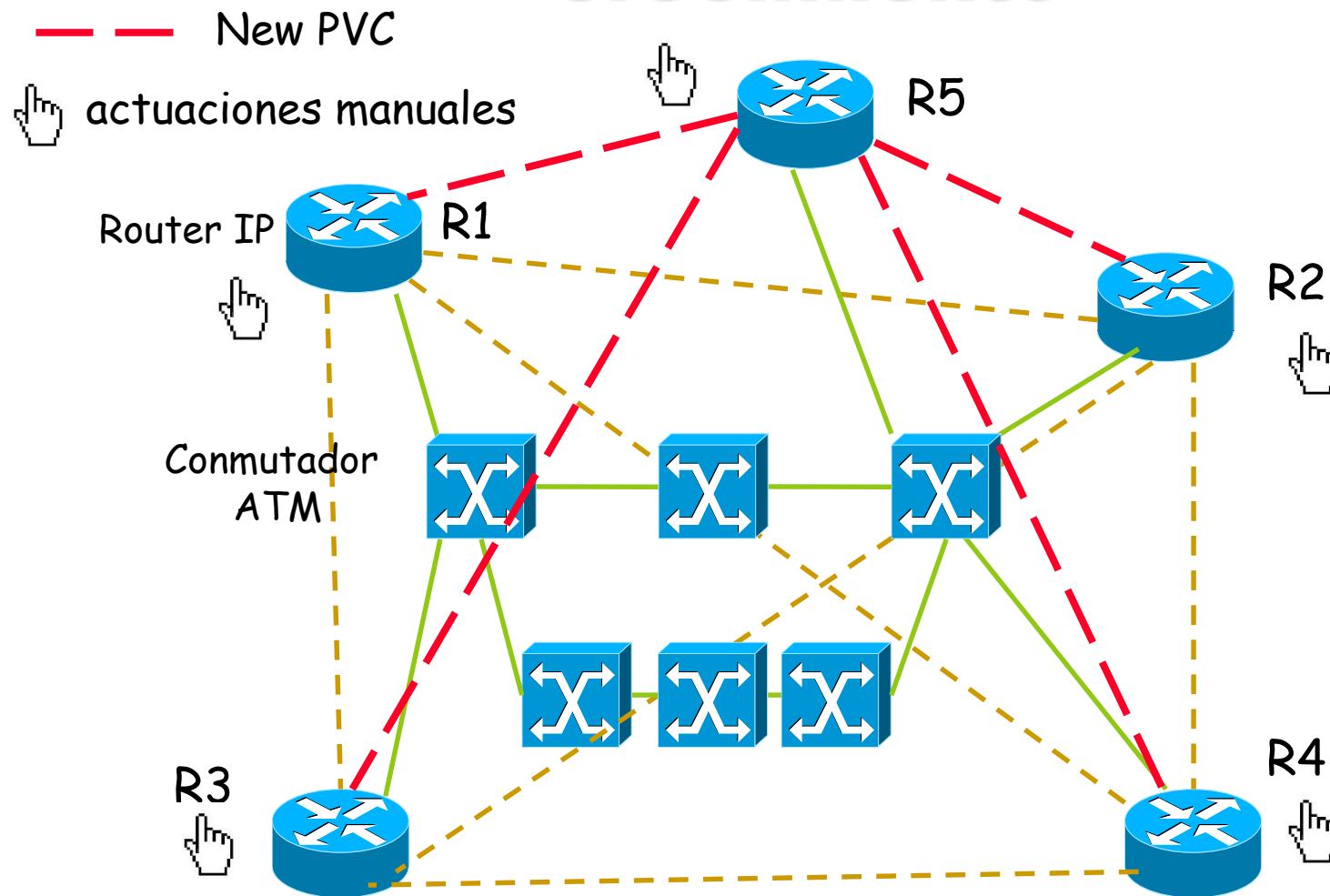
Modelo IP/ATM acoplado

- ◆ Aunque los datagramas de R1 a R2 en apariencia se reenvía por el circuito virtual MPLS 12, en realidad se fragmenta en células y que se mandan directamente del nodo MPLS 1 al MPLS 3, ahorrando las sucesivas fragmentaciones y reensamblados que vimos en la aproximación al modelo acoplado

Gestión en el modelo superpuesto y en el acoplado

- ◆ La gestión de red implica cambiar su configuración debido a su crecimiento o merma a lo largo del tiempo
- ◆ Esta gestión puede ser muy complicada o inabordable en el modelo superpuesto cuando la red crece, lo vemos en las siguientes transparencias
- ◆ Veamos que implica el añadir un nuevo router frontera IP, para dar servicio a nuevos clientes

Modelo IP/ATM superpuesto crecimiento

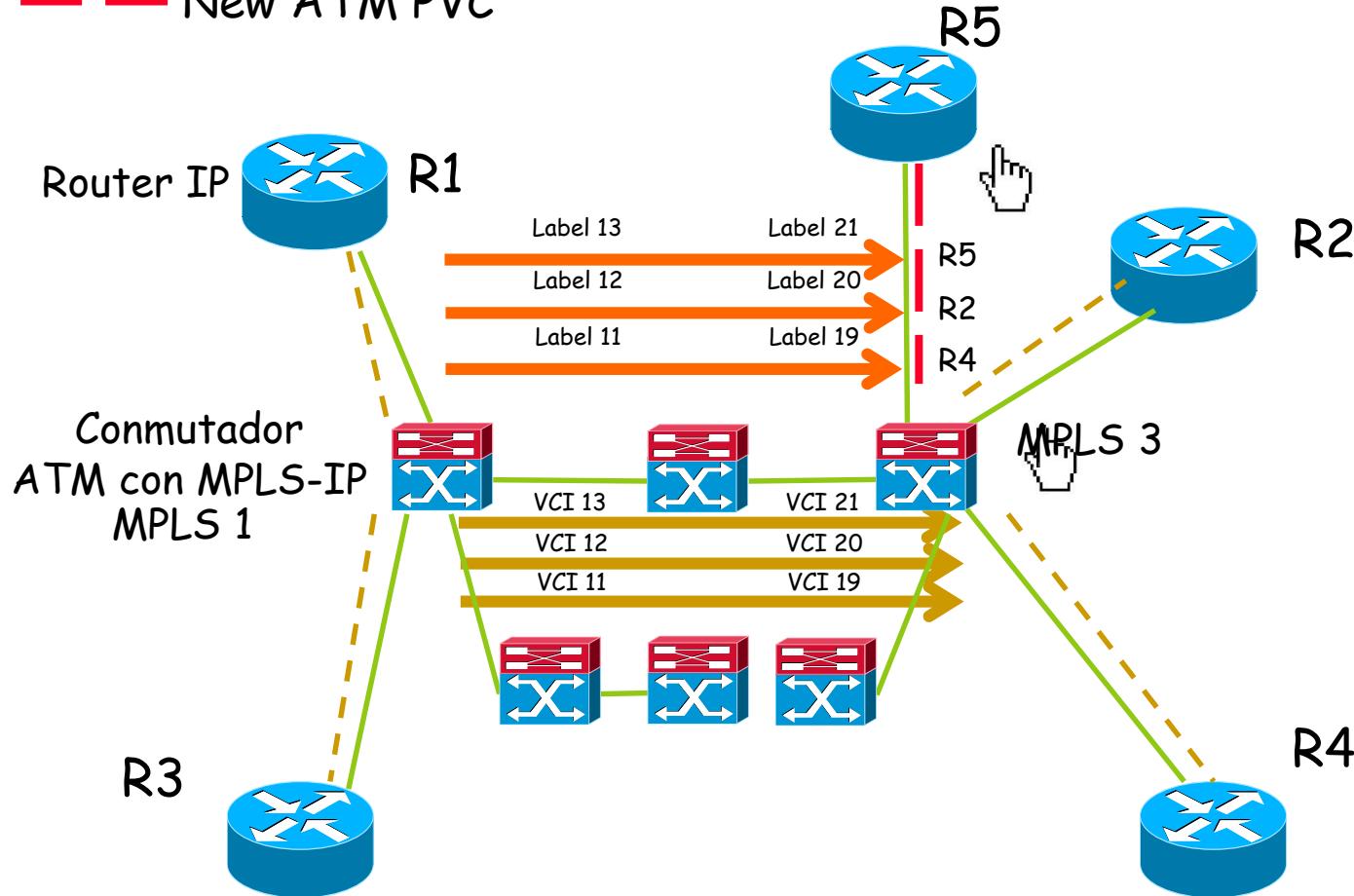


Modelo IP/ATM superpuesto crecimiento (Cont.)

- ◆ R5 intercambia información de encaminamiento el resto de routers frontera IP
- ◆ Hay que hacer actuaciones manuales en cada extremo de cada nuevo PVC
 - Abrir PVC ATM
 - Activar interfaz IP asociado
- ◆ Hay que abrir n nuevos PVCs
- ◆ Si n es grande el problema es grande

Modelo IP/ATM acoplado, crecimiento

— — New ATM PVC



Modelo IP/ATM acoplado, crecimiento (Cont.)

- ◆ R5 intercambia información de encaminamiento sólo con MPLS 3
- ◆ Hay que hacer actuaciones manuales en cada extremo de cada nuevo PVC
 - Abrir PVC ATM
 - Activar interfaz IP asociado
- ◆ Hay que abrir sólo un nuevo PVC a mano (fuera del núcleo), dentro del núcleo MPLS se abren las conexiones de forma automática
- ◆ Por defecto para cada destino IP se abre un nuevo camino etiquetado MPLS

Establecimiento automático de conexiones MPLS

- ◆ Todos los nodos MPLS son IP y OSPF
- ◆ De forma automática todos calculan la tabla de encaminamiento (el proceso tarda 40' seg.)
- ◆ Despues un protocolo de señalización MPLS (RSVP o LDP Label Distribution Protocol) para cada destino de la tabla de rutas abre una conexión MPLS
 - El proceso crea tablas de conmutación o reenvío en cada nodo MPLS intermedio
- ◆ Todo el proceso es automático (ver siguiente fig)
- ◆ Cuando llega tráfico IP al núcleo se retransmite usando la tabla de reenvío (más pequeña y rápida) no tabla de encaminamiento

Acople Encaminamiento/Envío

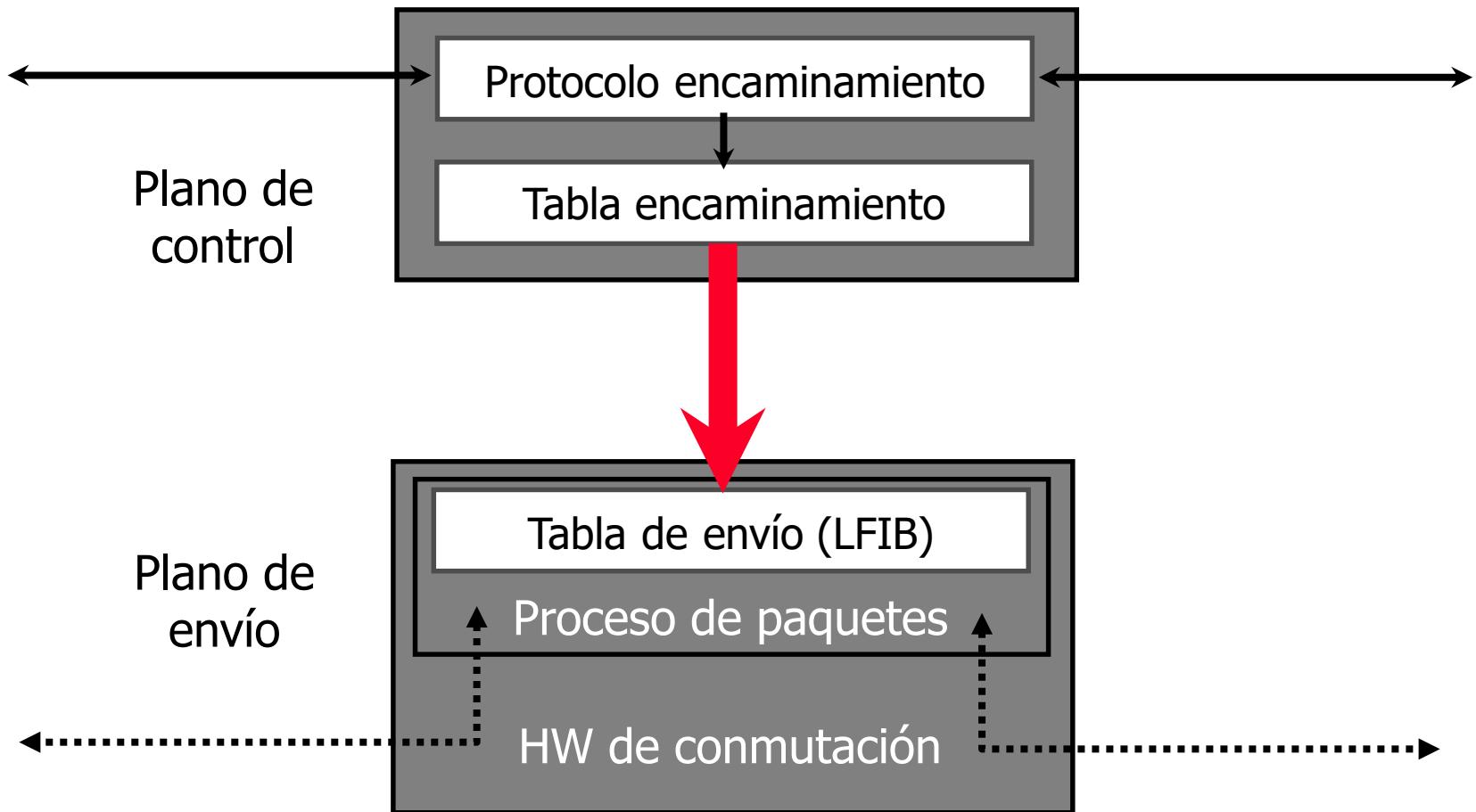


Tabla de envío

- ◆ En MPLS esta tabla se llama LFIB (*Label Forward Information Base*)
 - Relaciona las etiquetas de entrada con etiqueta las de salida, (como cualquier red conectiva)
- ◆ También incluye información adicional sobre
 - El tráfico que usa la conexión MPLS (normalmente prefijo de red IP)
 - Puerto de salida
 - Siguiente salto (dirección IP)
- ◆ Ejemplo en un router Cisco

Local Label	Outgoing Label	Prefix or ID	Outgoing Interface	Next Hop	Bytes Switched
16057	16058	10.241.4.0/24	Gi0/1/0/23	10.114.4.11	0

Tabla de envío

- ◆ En el ejemplo anterior de tabla de envío no aparece el interfaz de entrada
 - Es porque el nodo usa una **asignación global de etiquetas**,
 - El **nodo que asigna la etiqueta**, lo **hace sólo una vez**, i.e. no tiene en cuenta el interfaz donde se pueda usar
 - Implica que:
 - Las etiquetas no se pueden reutilizar en otro interfaz del mismo nodo
 - No importa el interfaz de entrada de un mensaje
 - Ahorro de espacio en la tabla de envío, no hay que almacenar el puerto de entrada

MPLS y encaminamiento IP

- ◆ Los nodos MPLS, participan en los protocolos de encaminamiento IP (OSPF) como otro router más
 - Difunden información sobre sus vecinos y aprenden de los destinos que conocen los demás
 - Con esta información construyen las tablas de encaminamiento
 - Con la información contenida en las tablas de encaminamiento, se establece el camino etiquetado a seguir dentro de la red MPLS para alcanzar un destino

Índice

- ◆ Introducción a la conmutación de etiquetas
- ◆ Modelos de red IP/ATM
- ◆ MPLS estándar
- ◆ Aplicaciones de MPLS

Commutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS)

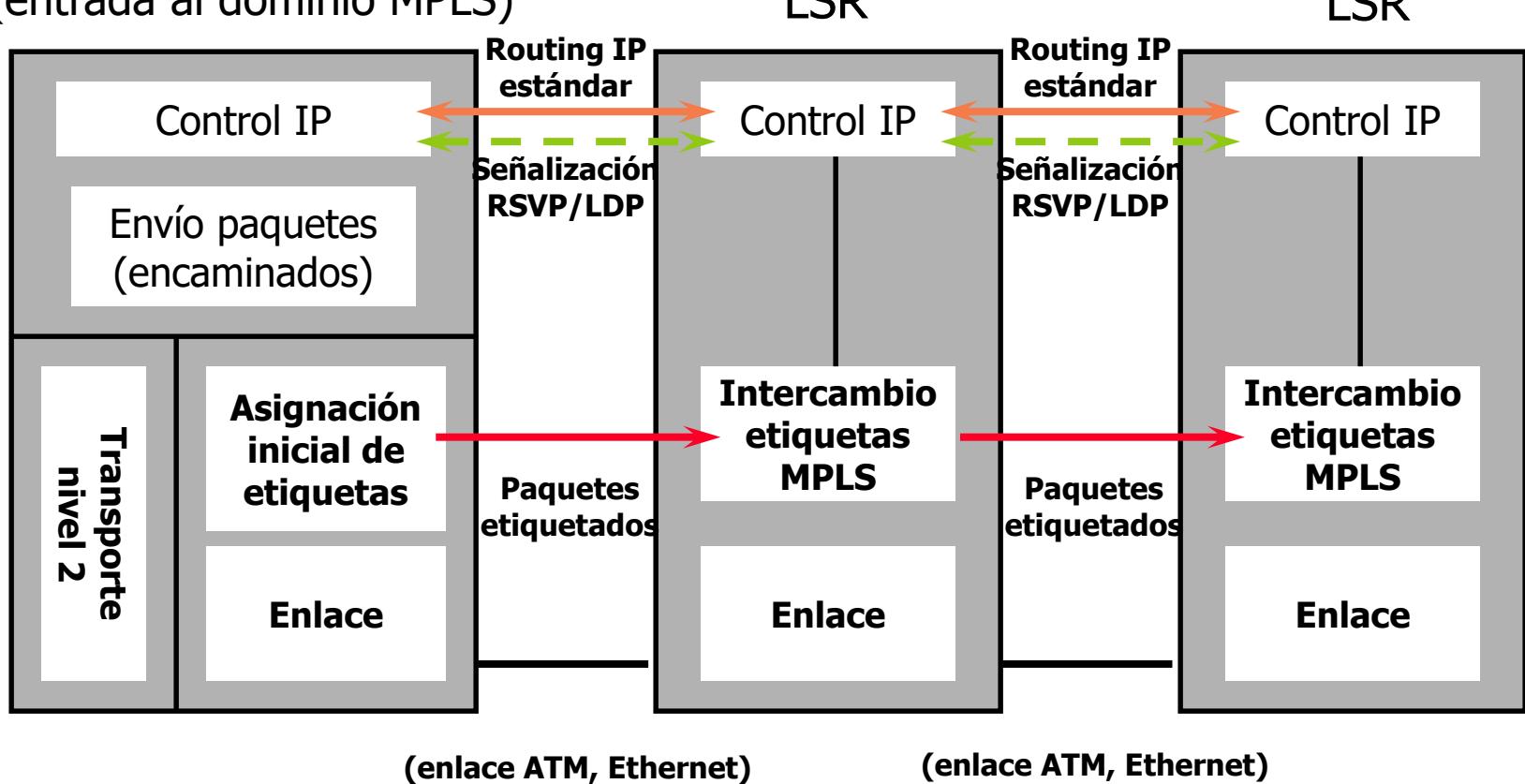
- ◆ Normalización por el IETF, RFC 3031 (enero 2001)
 - Propuesta de integración, parecida a *Tag Switching* de Cisco
 - En un encaminador con funciones MPLS las etiquetas determinan no sólo el puerto de salida de un paquete, sino también opciones de encolado y soporte de QoS
 - Posibilidad de soportar diferentes clases de servicio (compatible con modelo de IntServ y DiffServ)
 - Escalable, mismo mantenimiento y operación de las redes IP actuales

MPLS: funcionamiento general (I)

- ◆ Los nodos MPLS se denominan LSR (label-switching routers) y los caminos o circuitos virtuales que siguen los paquetes etiquetados, LSP (label-switched paths)
- ◆ Los LSPs se abren consultando la tabla de encaminamiento IP
 - Esta tabla indica con llegar a un destino (no como volver), por tanto
 - Los LSPs son unidireccionales
 - En la práctica hay que abrir el doble de LSPs (uno para cada sentido)

MPLS: funcionamiento general (II)

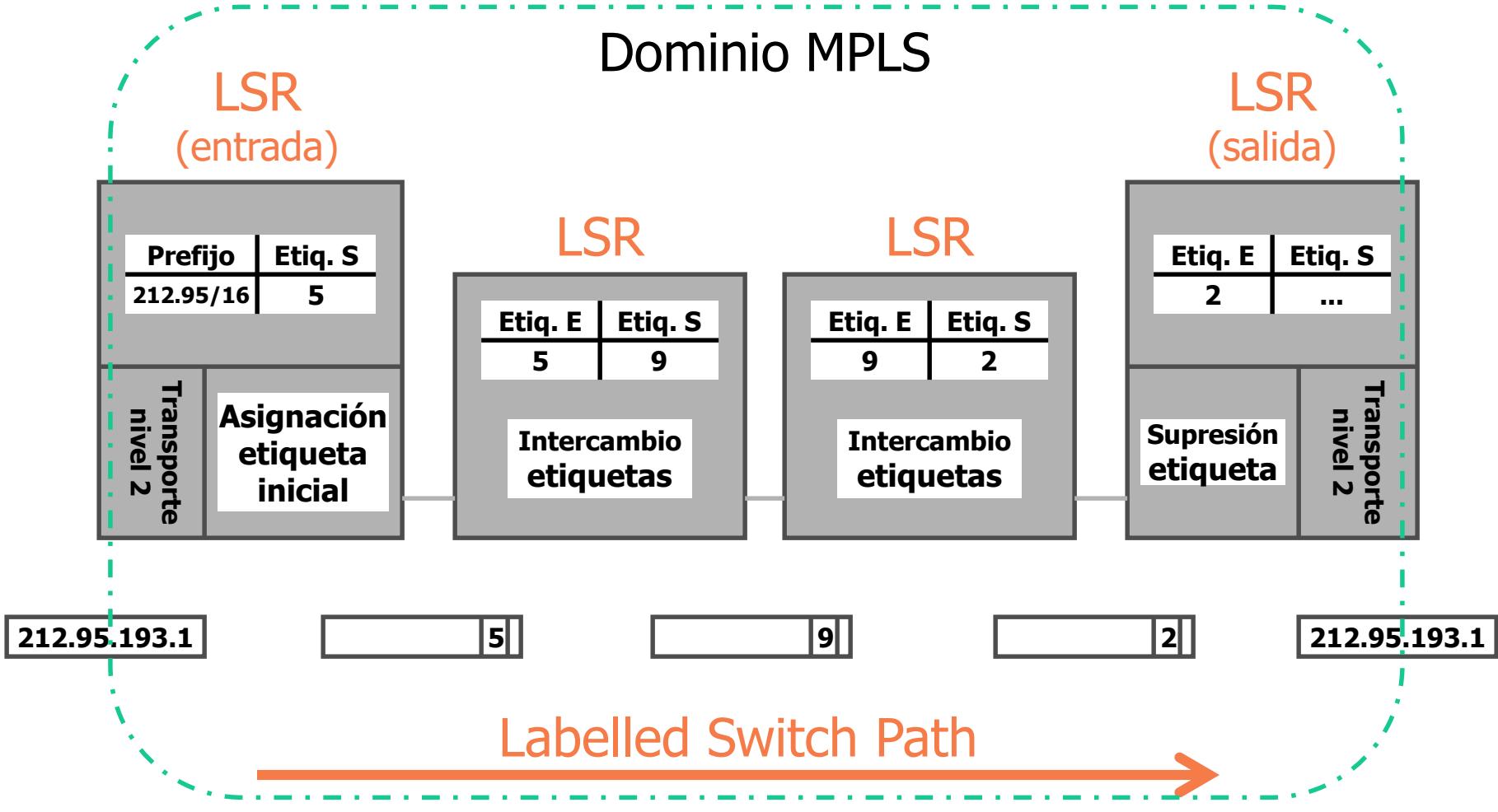
LSR Límite
(entrada al dominio MPLS)



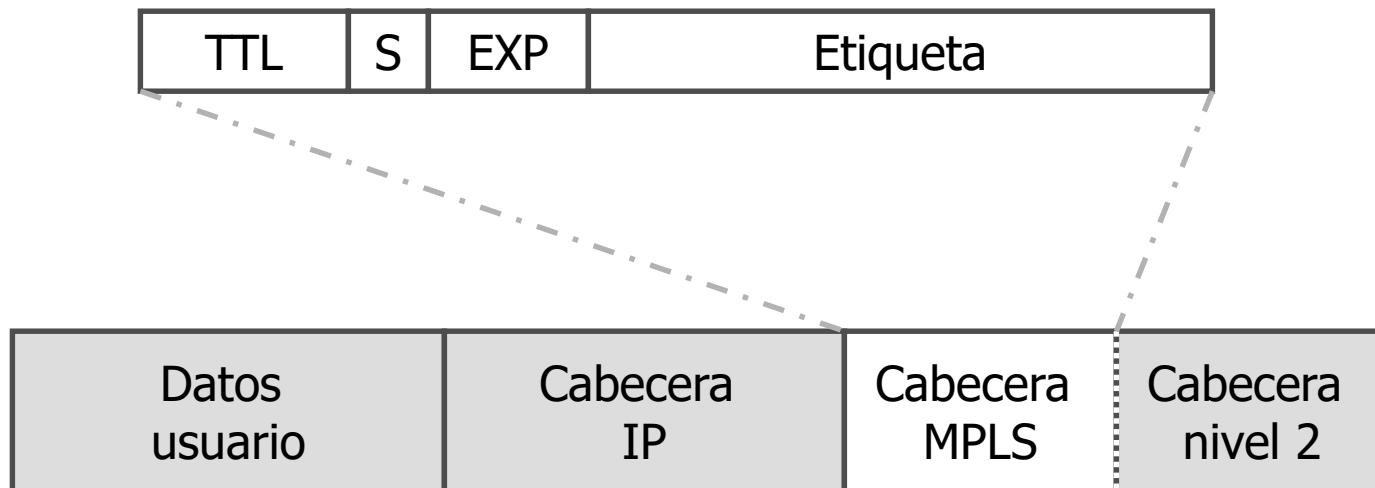
Operación de MPLS

- ◆ En la siguiente figura se ilustra como funciona MPLS
- ◆ Al nodo frontera MPLS llega un datagrama con destino IP 212.95.193.1
- ◆ Este nodo inserta la etiqueta 5 y lo reenvía al siguiente nodo que lo reenvía cambiando la etiqueta al valor 9
- ◆ El último nodo suprime la etiqueta, deja el datagrama como estaba a la entrada y lo reenvía

Label Switched Paths, LSPs



MPLS: Formato paquete (trama)



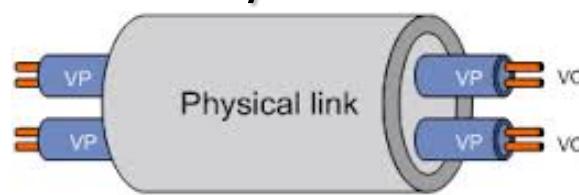
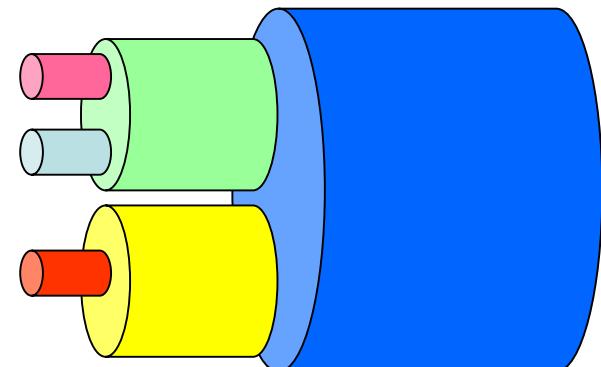
Cabecera MPLS

- ◆ Una cabecera MPLS (4 octetos) incluye:
 - Etiqueta (20 bits, 1 M conexiones), similar al identificador de conexión
 - Campo “experimental” (3 bits), que sirve para indicar la clase de servicio que debe recibir el paquete
 - S: indicador de última cabecera (1 bit) MPLS, ya que pueden apilarse, se explica después
 - TTL: time to live (8 bits) para detectar caminos con bucles, procesado como en IP

Apilamiento de cabecera MPLS

- ◆ Las cabeceras pueden apilarse (bit S) para hacer túneles de un camino etiquetado

- Equivale a entubar conexiones unas dentro de otras
 - Idea parecida a VPI/VCI ATM



- ◆ Una opción muy usada en varias aplicaciones (vistas en el siguiente tema):

- Redes privadas virtuales, VPNs
 - Recuperación rápida ante fallos
 - Agregación de LSPs, para reducir su número
 - En redes ópticas, la conexión MPLS se implementa en una longitud de onda de una fibra
 - En una fibra caben unos centenares de longitudes de onda

Distribución de las etiquetas

- ◆ Al proceso de abrir nuevos LSP se le denomina distribución de etiquetas o establecimiento de LSP, ya que esto es lo que implica la apertura de los LSPs
- ◆ Inicialmente, de forma automática, se establecen LSPs entre todos los LSRs, de forma que haya conectividad total
- ◆ Si se conectan nuevas redes a un LSR hay dos opciones
 - Abrir nuevos LSPs (ver transparencia de crecimiento en el modelo acoplado y práctica 3)
 - Reusar las conexiones existentes, se hace en redes ópticas, para ahorrar en número de LSPs

Establecimiento de un LSP

- ◆ Hay dos tipos de establecimiento de un LSP, en función de donde parte la orden
 - (**Ordenada**) desde el LSR de salida del dominio MPLS hacia atrás
 - El siguiente nodo le dice al que le precede la etiqueta a usar, (esto ocurre en el modo ordenado)
 - (**Independiente**) desde cada nodo: cada LSR toma un destino de la tabla de encaminamiento, asigna la etiqueta y la distribuye a todos sus vecinos
 - En el modo independiente, si el nodo siguiente, no es por donde van los datos, el anuncio de la etiqueta no se considera
- ◆ En ambos casos, la **distribución** siempre es en el **mismo sentido que los datos**

Ejemplo de establecimiento de un LSP ordenado, ver siguiente fig

- ◆ Vemos como asignar etiquetas para transmitir datos de izquierda a derecha (de R1 a R3 y R4)
- ◆ R3 nodo frontera MPLS, descubre en su tabla de rutas que aparece un nuevo destino, el 128.17.0.0, por su interfaz de la derecha
- ◆ Abre un nuevo LSP y decide darle entre sus etiquetas libre, la 23
- ◆ También propaga la creación del LSP al nodo que le precede, el R2 con un mensaje de LDP o RSVP, informa a R2 para que establezca un LSP para el destino 128.17.0.0
 - Manda el mensaje con la información label 23, IP prefix 128.17.0.0 (23:128.17)

Ejemplo de establecimiento de un LSP, ver siguiente fig

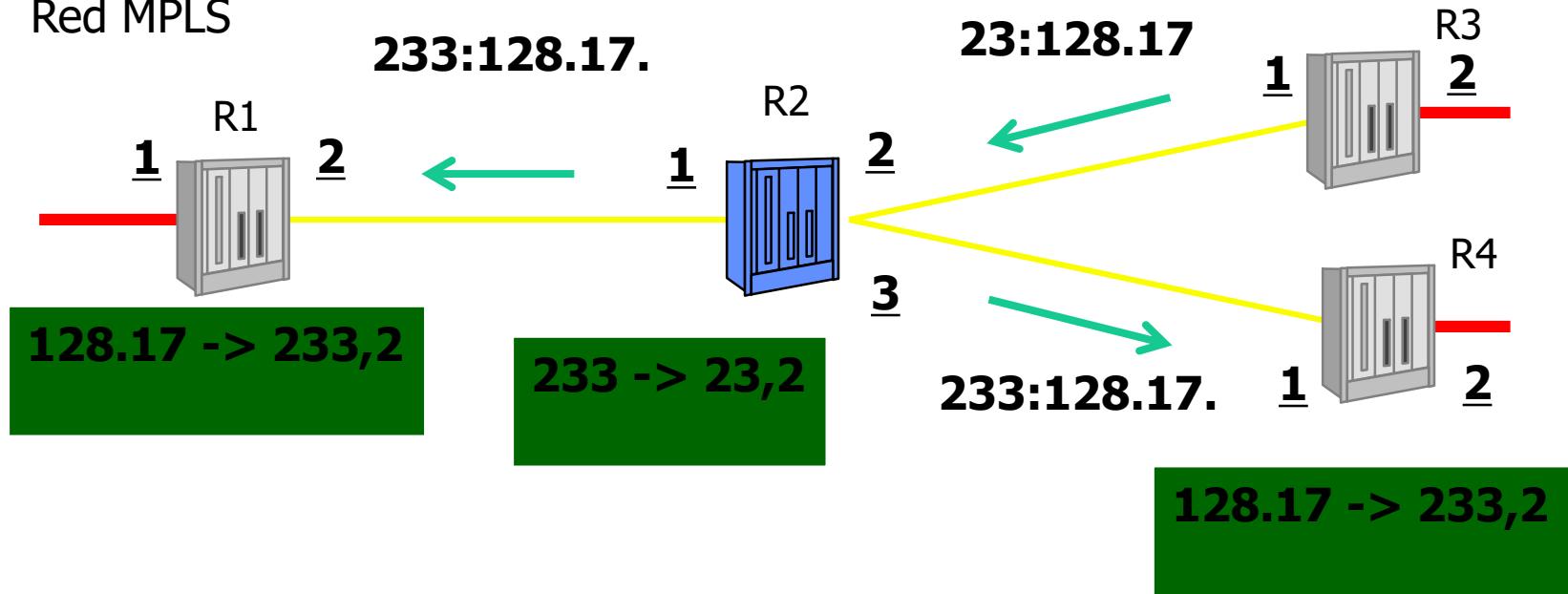
- ◆ R2 progresiva la conexión hacia los nodos que le preceden R1 y R4
 - Escoge una etiqueta libre (233) como etiqueta que deben usar los nodos anteriores que le envíe datos
 - Crea una entrada en la LFIB con el formato etiqueta de entrada -> etiqueta salida, port salida "233 ->23, 2"
 - Cuando reciba tráfico etiquetado con 233 (de R1 o R4) lo reenvía por el port 2 cambiando a la etiqueta 23
 - Manda el mensaje a R1 y R4 con la información label **233**, IP prefix 128.17.0.0 (23:128.17)

Ejemplo de establecimiento de un LSP, ver siguiente fig

- ◆ Así se abriría el camino por todos los nodos hasta llegar a los nodos frontera MPLS (R1 y R4) que guardarían en su LFIB el prefijo IP y la etiqueta de salida asociada que le mandó R2 (no tiene sentido la etiqueta de entrada)
- ◆ Si después aparece el destino 10.0.0.0 por el interfaz 3 de R2, se procede de manera similar

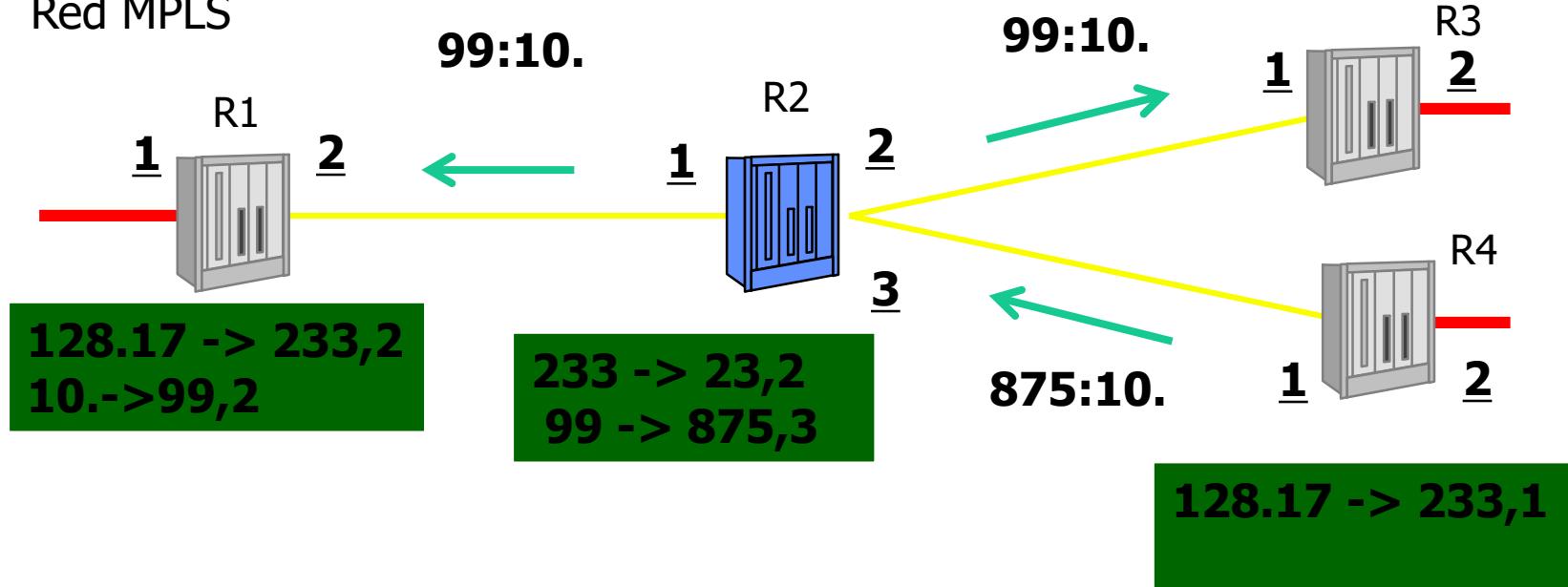
Ejemplo establecimiento LSP ordenada

— Red IP
— Red MPLS



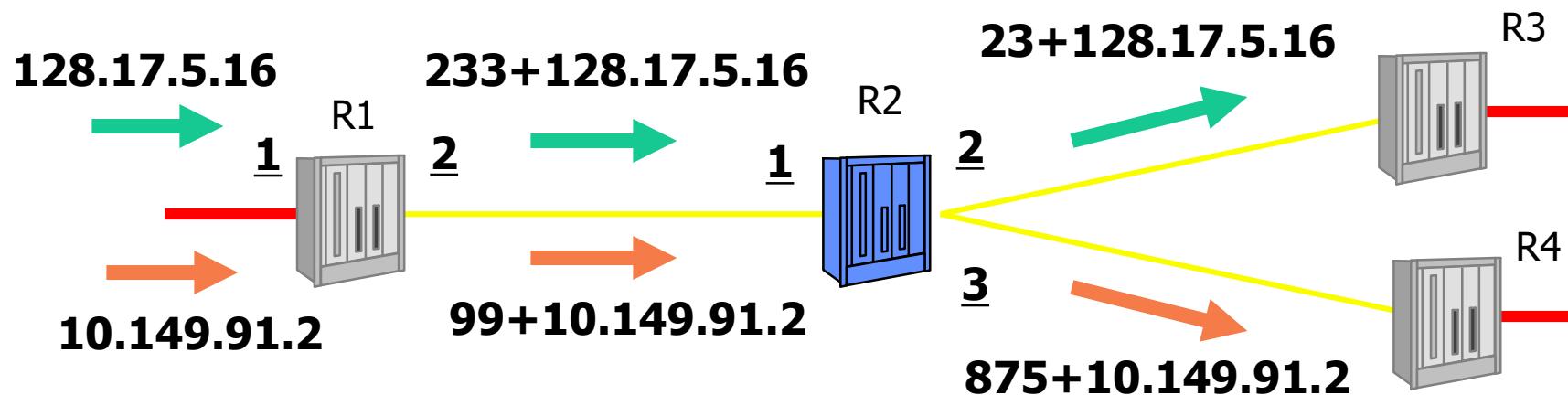
Ejemplo establecimiento LSP ordenada

— Red IP
— Red MPLS



Ejemplo establecimiento LSP ordenada, envío de datos

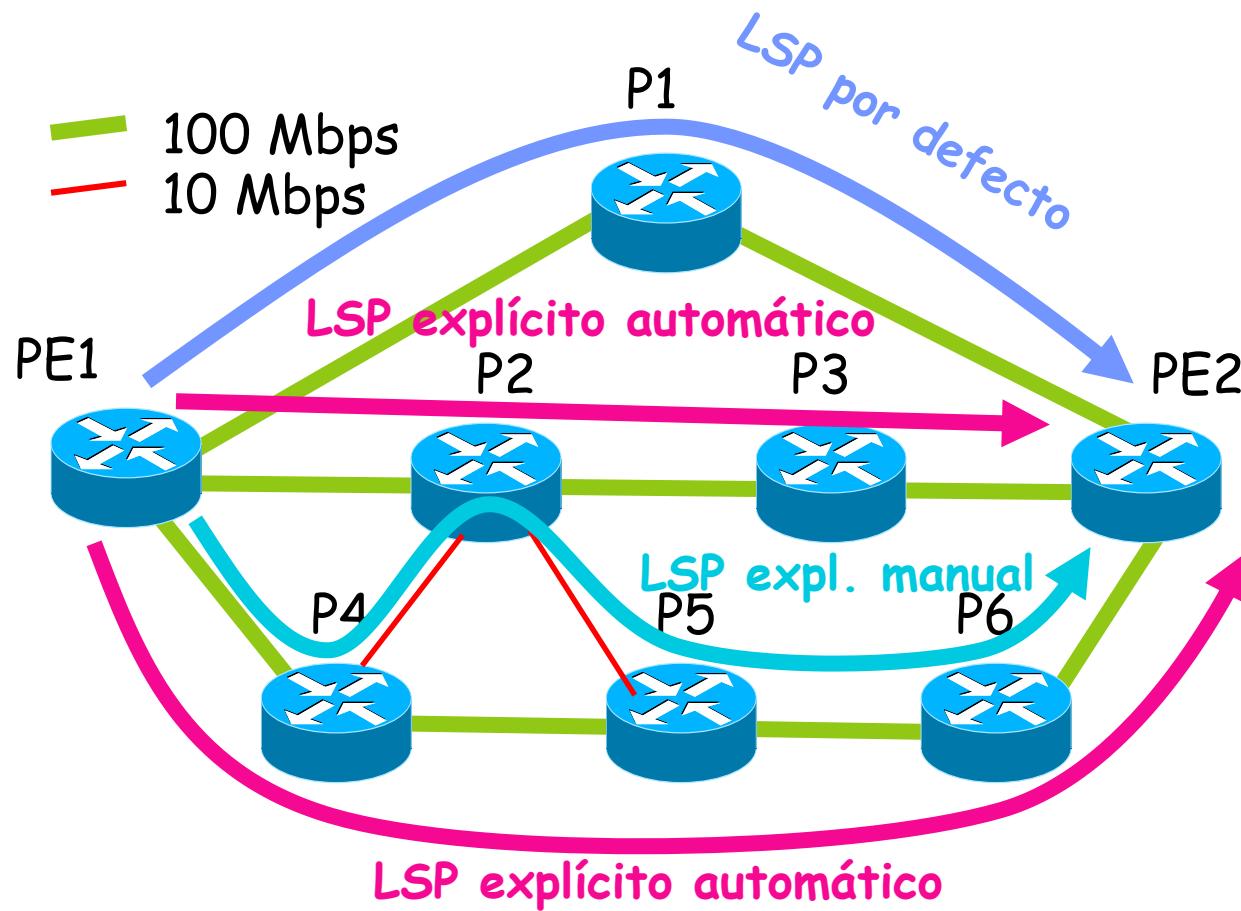
- ◆ Cuando viene un datagrama R1 lo encapsula en MPLS y le añade la etiqueta que corresponda (la 233 o la 99) y lo manda a R2
- ◆ R2 comunica la etiqueta
- ◆ R3 o R4, se la quita



Ruta por donde va un LSP

- ◆ Por defecto sólo se abre un LSP
 - La ruta por **defecto** sigue el camino del menor coste según el encaminamiento IP
- ◆ Se pueden abrir LSPs adicionales, son rutas **explícitas**:
 - Seleccionada por el LSR de entrada MPLS, que da la lista de nodos de la ruta
 - Hay que activar MPLS-TE (Traffic Engineering)
 - Esta ruta puede ser calculada de forma:
 - Manual, dada por el administrador
 - Automática, la ruta mas corta que cumpla ciertos requisitos
 - Establecimiento del LSP explícito con LDP-CR o RSVP-TE
- ◆ MPLS-TE permite sacar más BW de la red (entre un origen y un destino)

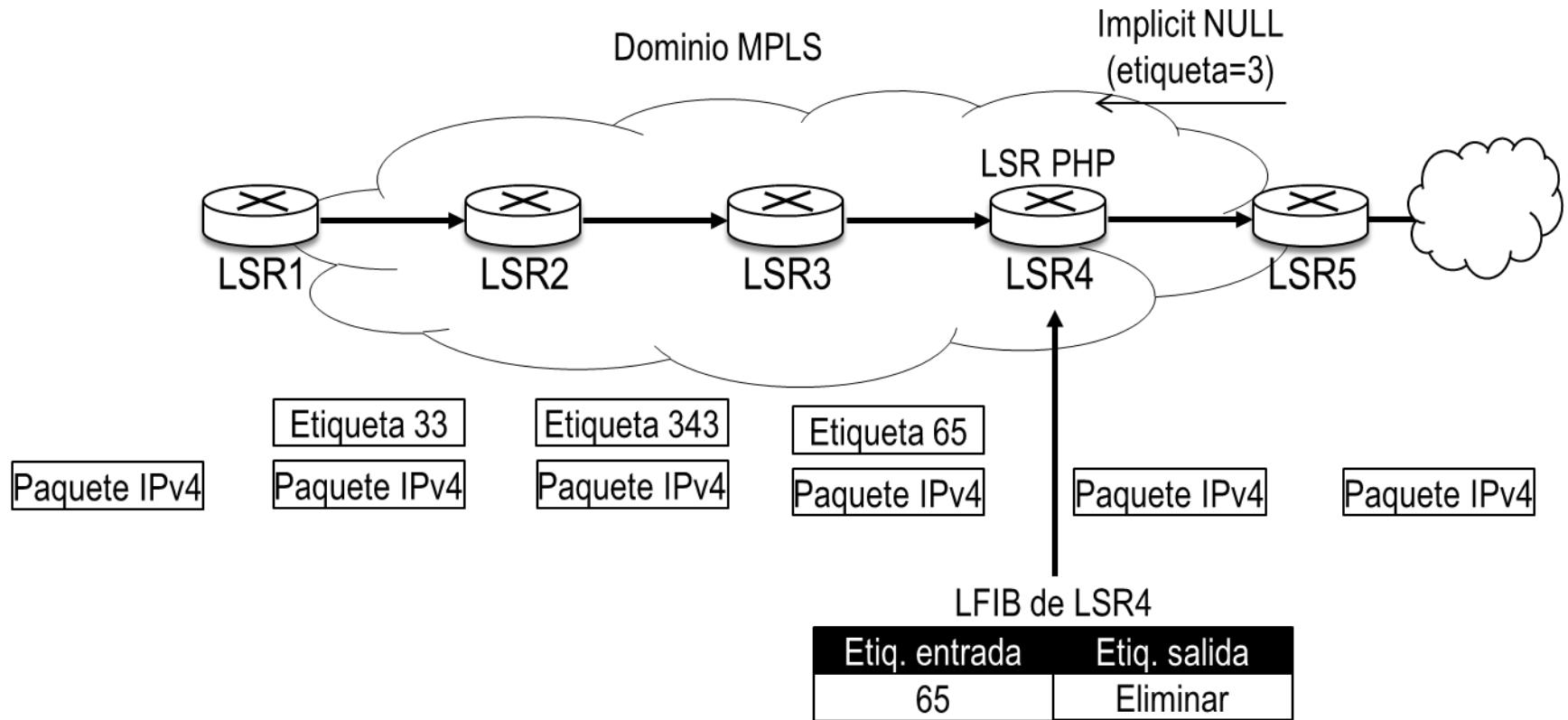
Ruta de un LSP (Cont.)



Penultimate Hop Popping

- ◆ ¿Qué se debe realizar en el LSR frontera de salida?
 1. Debe mirar la etiqueta, buscarla en LFIB para darse cuenta que, simplemente, debe eliminarla
 2. Hacer una búsqueda de capa 3 para encaminar dicho paquete
- ◆ La **doble búsqueda** puede producir una degradación en las prestaciones del LSR, así como requiere una mayor complejidad hardware.
 - Solución: uso de penultimate hop popping (PHP)
 - El último nodo indica al que le precede que use PHP, mándale poner una etiqueta NULL (valor=3)
 - Esta solución la emplea Cisco IOS por defecto
 - Ref Ghein pg 76

PHP, *Penultimate Hop Popping*



Índice

- ◆ Introducción a la commutación de etiquetas
- ◆ Modelos de red IP/ATM
- ◆ MPLS estándar
- ◆ Aplicaciones de MPLS

Aplicación inicial de MPLS

- ◆ Los caminos etiquetados se establecen siguiendo la topología de la red y el encaminamiento normal de IP: camino de menor coste
- ◆ Como resultado, los paquetes etiquetados siguen los mismos caminos que seguirían los paquetes en caso de no usar MPLS
- ◆ La aplicación inicial de MPLS de integración IP/ATM escalable acelerando el envío, quedó anulada por la aparición de routers IP hardware muy rápidos (CRS-3 322 Tbps; 50 Mbps/terrícola, marzo 2010) y la desaparición de ATM
- ◆ Posteriormente se han encontrado varias aplicaciones que hacen que **MPLS no pierda vigencia**

Aplicaciones avanzadas de MPLS

- ◆ Implementación a bajo coste de **Redes virtuales privadas**
- ◆ **Ingeniería de tráfico** MPLS-TE, para poder controlar el tráfico y distribuirlo por varias rutas
- ◆ **Alta fiabilidad** (Fast ReRoute, FRR), recuperación de fallos en poco tiempo, 50 msec
- ◆ Soporte de **QoS** a arquitecturas como IntServ y DiffServ
- ◆ Características avanzadas
 - Operación y mantenimiento, OAM único, fácil y **económico**
 - **Escalable**

Puntos débiles de MPLS

- ◆ No soporta multicast
- ◆ Requiere cierta configuración, no es autoconfigurable
- ◆ Algunas opciones no escalan, por ejemplo VPN+QoS

Referencias, TODAS disponibles en safaribooks

- ◆ **V. Alwayn:** Advanced MPLS Design and Implementation, Cisco Press, 2001.
- ◆ **L. De Ghein:** MPLS Fundamentals, Cisco Press, 2007.
- ◆ Adicionales muy específicos sobre MPLS-TE:
 - **E. Osborne** "Traffic Engineering with MPLS". Editorial Cisco Press, julio 2002.
 - **I. Minei** and **J. Lucek**: "MPLS-Enabled Applications". John Wiley & Sons, 3rd Ed, 2011.