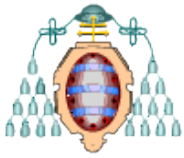


INGENIERÍA DE REDES  
Grado en Ingeniería Informática

**Tema 2:**  
**MPLS**  
**Multiprotocol Label Switching**

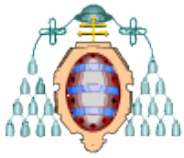
Roberto García Fernández  
Área de Ingeniería Telemática  
Universidad de Oviedo



# Introducción a MPLS

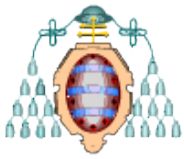
- Multiprotocol Label Switching (MPLS) es un método eficiente para enviar paquetes basado en etiquetas (*label*) en lugar de la dirección IP (Layer 3) de la red destino
- MPLS está diseñado para soportar diferentes protocolos Layer 3 (*Multiprotocol*)
- MPLS disminuye la sobrecarga de reenvío en los *routers core*, haciéndolos más eficientes
- MPLS es muy eficiente y flexible
- MPLS proporciona múltiples servicios, como unicast routing, multicast routing, VPN, Traffic Engineering (TE), QoS y Any Transport Over MPLS (AToM)
- MPLS es una red de transporte con soporte para múltiples flujos





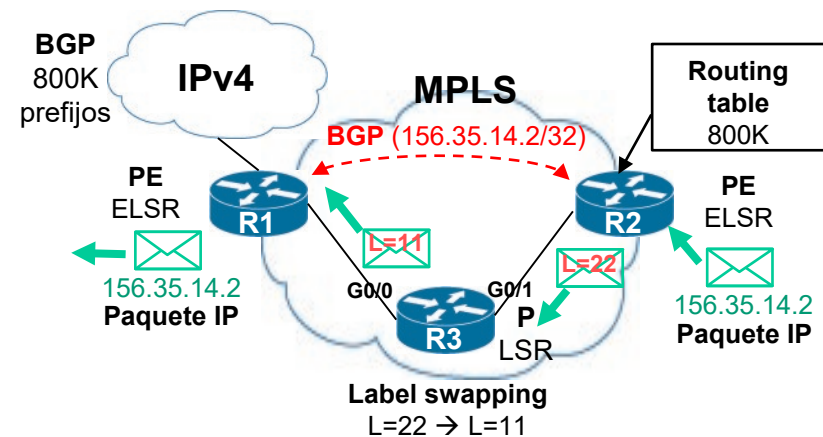
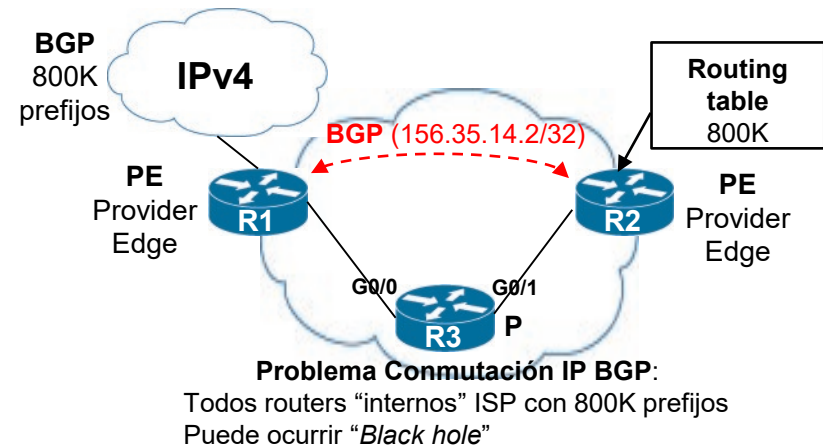
# Introducción a MPLS

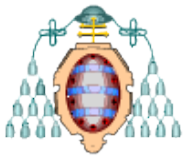
- Internet Engineering Task Force (IETF) es la organización que lidera el desarrollo y la organización de especificaciones y estándares MPLS
- Desplegado en la mayoría de redes IP
- IETF crea el *MPLS working group* (1997)
  - Primeros estándares (2001)
  - Especificaciones en
    - RFC 3031 Arquitectura MPLS
    - RFC 3032 Etiquetas MPLS
    - RFC 3035 Protocolo LDP y conmutación ATM
    - RFC 3036 Especificaciones de LDP



# Conmutación IP vs etiquetas

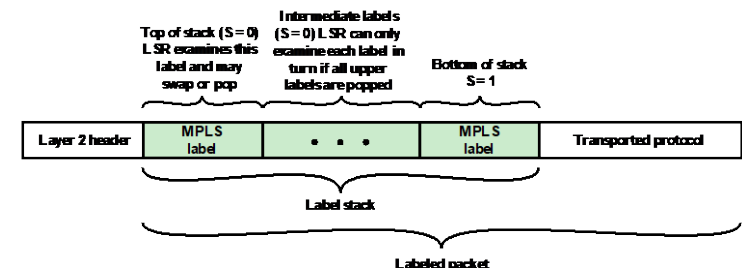
- Tablas de rutas en routers *core* del ISP
  - Miles de rutas
  - Todos los routers deben conocer todos los destinos
  - Comprobación ruta más exacta
  - Comprobación IP + máscara: 64 bits
  - **R3# show ip route**
  - **R3# show ip arp**
- Routing basado en etiquetas MPLS
  - Tablas de rutas más pequeñas
  - Etiquetas 20 bits

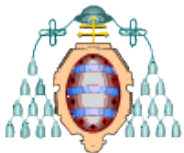




# Componentes MPLS

- Label Distribution Protocol (**LDP**)
  - Protocolo para la distribución de etiquetas
- Label Switching Paths (**LSP**)
  - Caminos origen-destino basados en etiquetas
- Label Switching Routers (**LSR**)
  - Routers que implementan MPLS
- Edge label switching routers (**ELSR**)
  - Routers frontera de la red MPLS
- **MPLS labels and label stacking**
  - Etiquetas MPLS y formato
  - Label stacking
    - Permite la creación de túneles
    - Ilimitado número de apilamiento de etiquetas



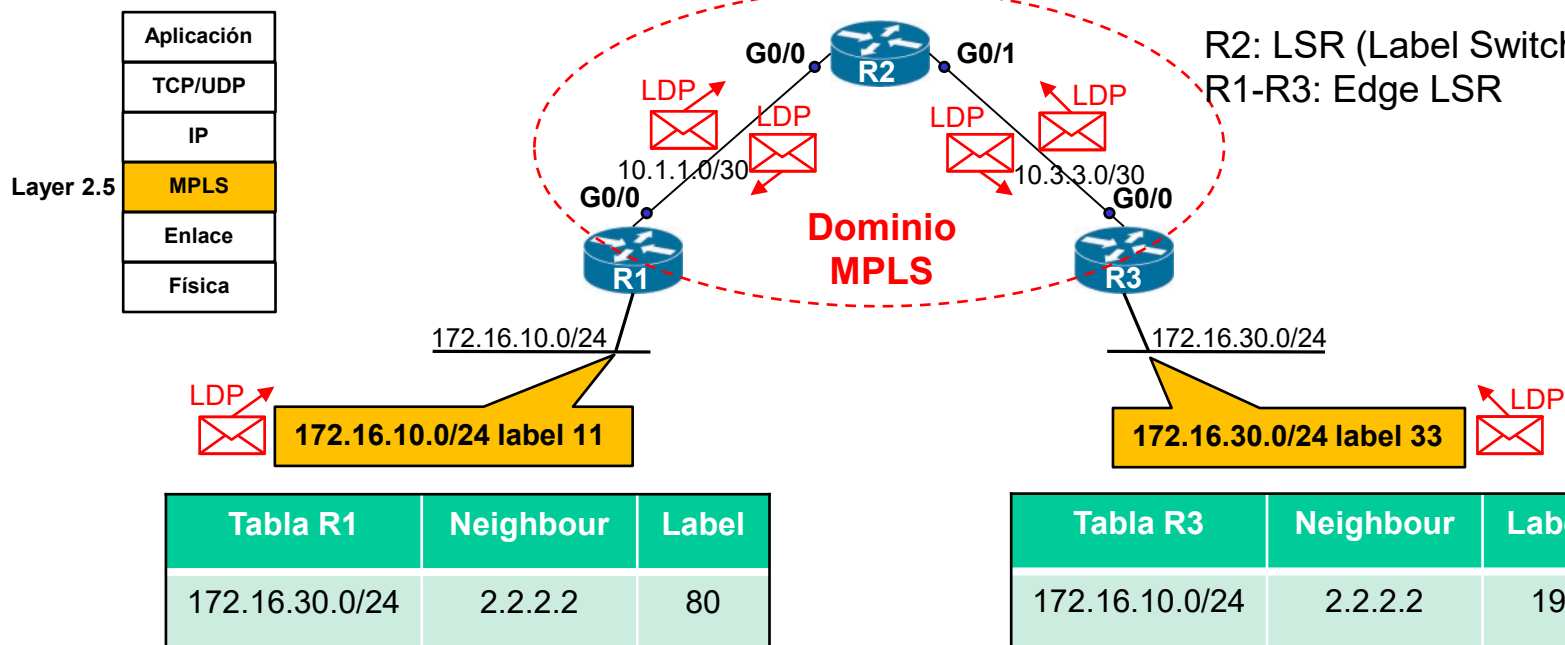


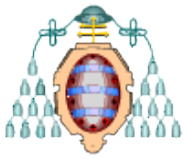
# Cómo funciona MPLS

**R2**  
**Tabla etiquetas**

Prefijo	Interface	Label asignado	Neighbour	Label out
172.16.10.0/24	G0/0	19	1.1.1.1	11
172.16.30.0/24	G0/1	80	3.3.3.3	33

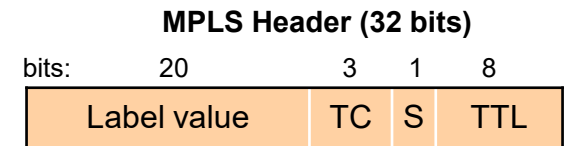
Routers MPLS asignan automáticamente etiquetas a cada red que conocen (anunciadas previamente por los protocolos de routing -OSPF, etc-)



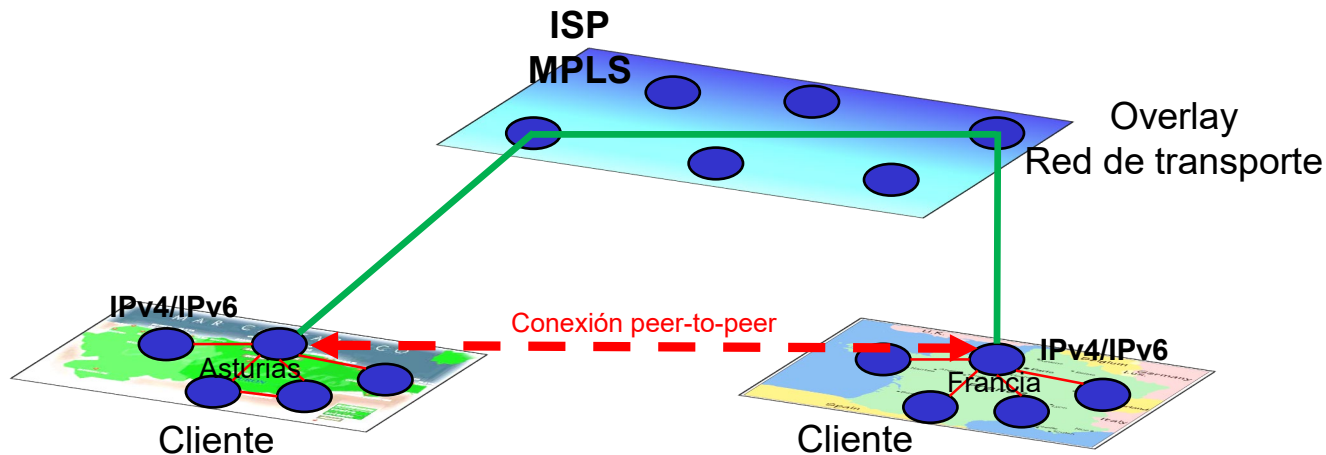


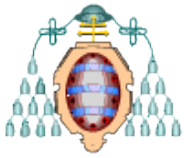
# Etiquetas MPLS

- Facilitan mejor toma de decisiones para routing
  - Etiquetas 20 bits
- Infraestructura de red unificada
- Red MPLS transparente
  - Modelo completo *peer-to peer* para MPLS VPN
- Facilidad para implementar ingeniería de tráfico



TC: Traffic class  
S: bottom of stack bit



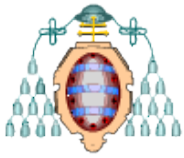


- Ingeniería de Tráfico (**TE Traffic Engineering**)
- Capacidad para definir rutas dinámicamente, planificar compromisos de recursos en función de la demanda conocida y optimizar la utilización de la red
- Un uso eficiente puede incrementar notablemente la capacidad usable de la red
- Antes de la aparición de MPLS, ATM proporcionaba capacidad de ingeniería de tráfico
- Asigna tráfico a la red para maximizar la utilización de la capacidad
- Asegura la mejor ruta a través de la red mientras cumple con los requisitos de QoS

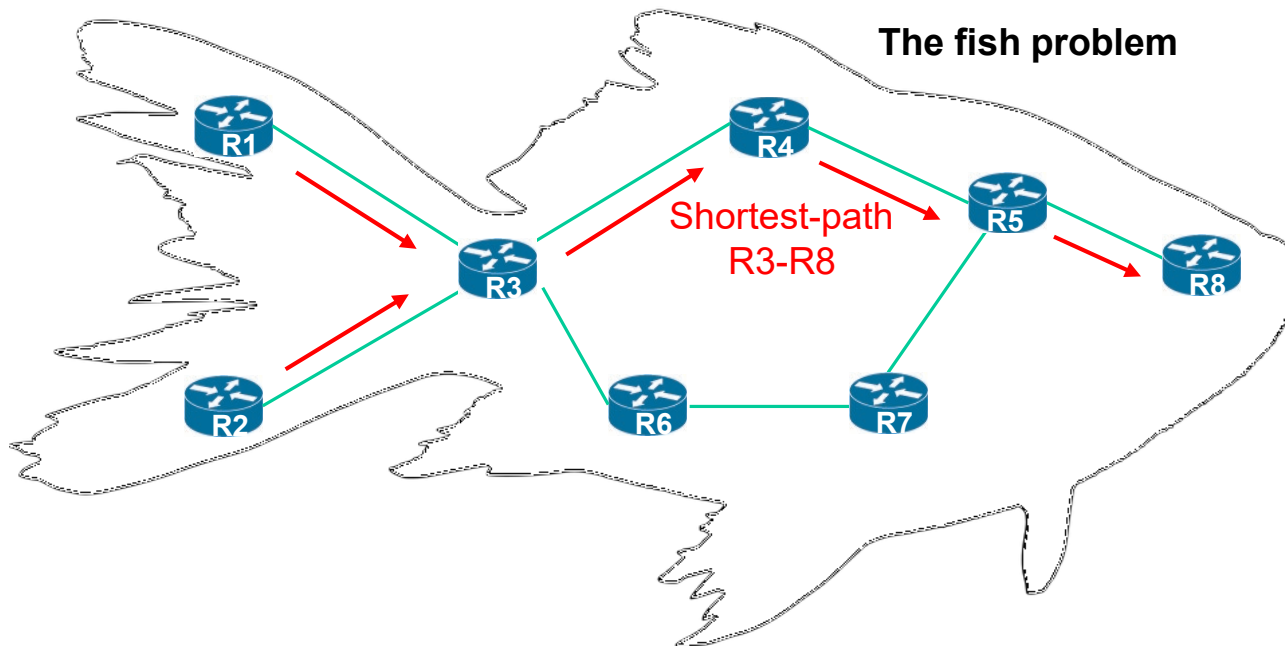
## MPLS

- Conoce los flujos con requisitos de QoS
- Posibilita configurar rutas basadas en flujos de tráfico
- Los caminos (paths) pueden ser reenrutados de manera inteligente

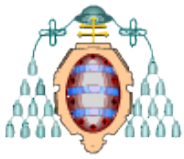




# Problema de *Shortest-Path*

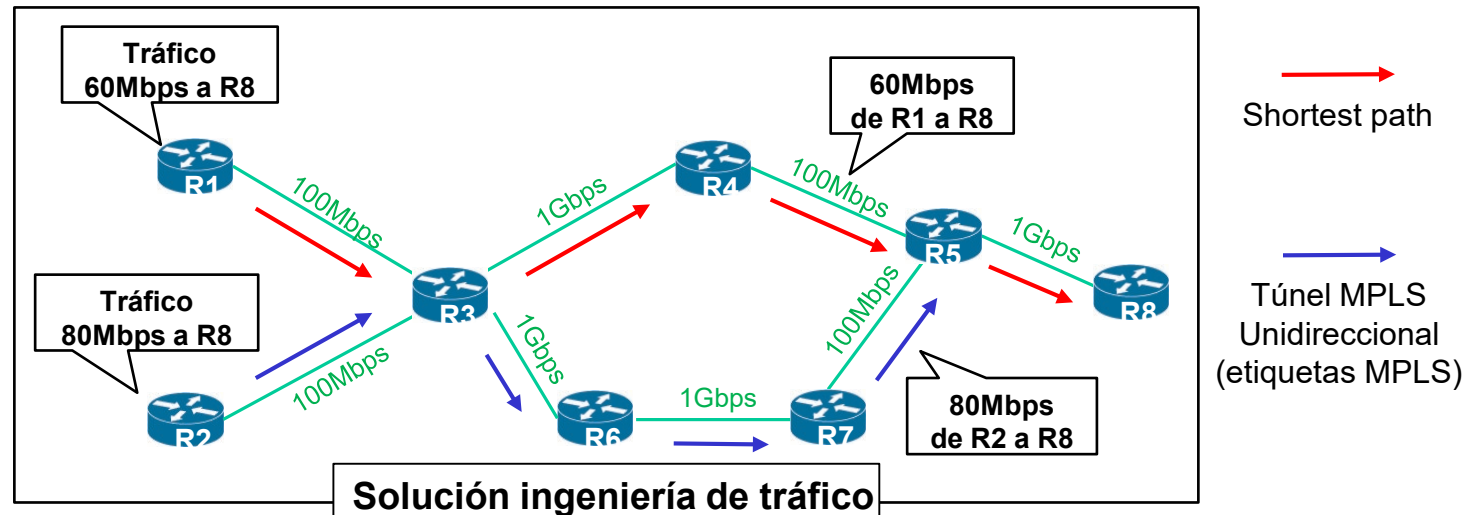
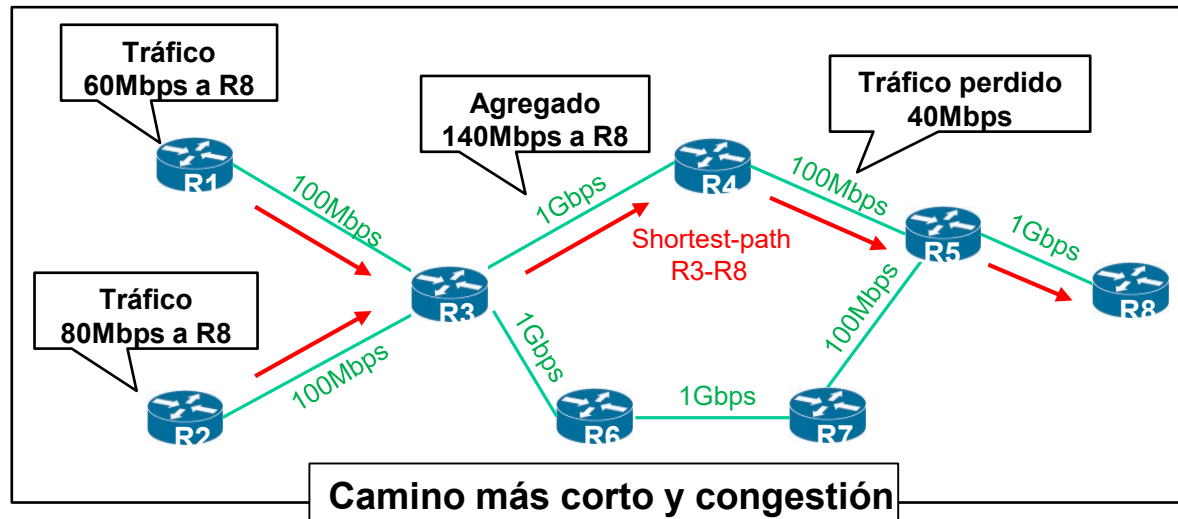


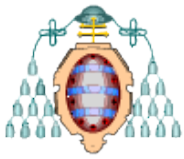
- IP utiliza routing basado en el camino más corto (*shortest path*)
- El camino más corto puede no ser la única ruta al destino
- Las rutas alternativas están infrautilizadas
- El camino más corto (*shortest path*) puede estar saturado



# Ingeniería de tráfico

Ingeniería  
Telemática





# ROUTER MPLS: LIB y LFIB

Ingeniería  
Telemática

## Management Plane:

- Control y configuración de los dispositivos (CLI, SSH, TELNET, ...)

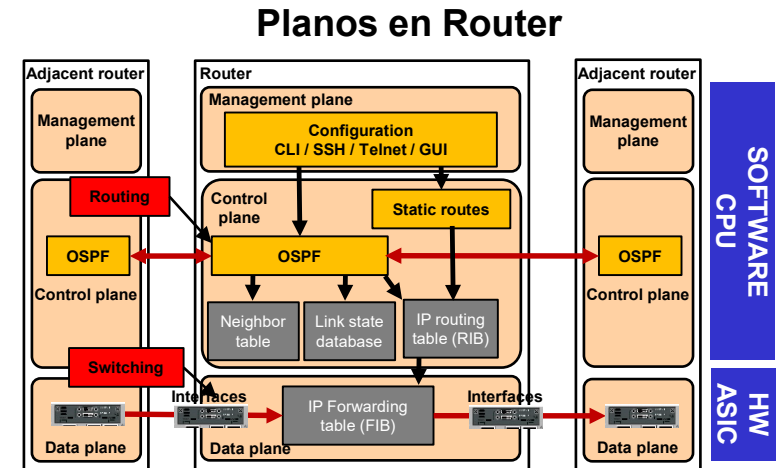
## Control Plane:

- Intercambio de rutas mediante protocolos de routing (RIP, OSPF,...) para completar la tabla de rutas IP (RIB)
- Intercambio de etiquetas con otros routers MPLS mediante protocolo de distribución de etiquetas para completar el LIB

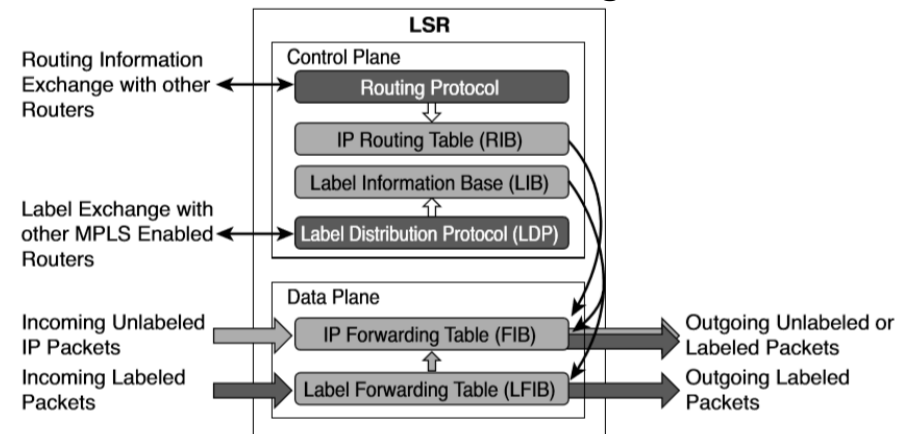
## Data Plane

Encargado de enrutar los paquetes entre interfaces mediante las tablas:

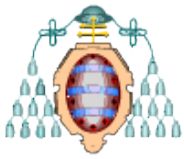
- FIB (Forwarding Information Base): para enrutar paquetes no etiquetados
- LFIB (Label FIB): para paquetes etiquetados



## Router LSR: Label Switching Router

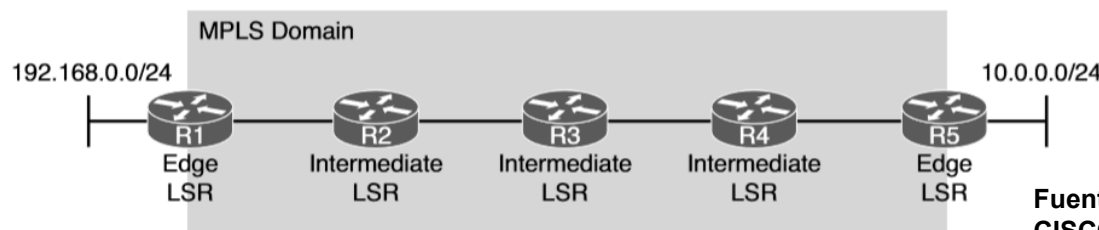


Fuente: CISCO CCNP Enterprise

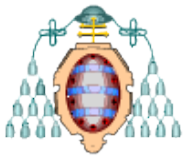


# Label Switching Routers

- MPLS lo implementan, fundamentalmente, los ISPs
- R1-R5 son LSR (Label Switching Routers) y pertenecen al dominio MPLS
  - Pueden recibir y transmitir paquetes con etiquetas en sus interfaces
  - R1 y R5 son edge LSRs
  - R2, R3 y R4 son intermediate LSRs.
- **Edge LSR:** añaden etiquetas a los paquetes que entran en el dominio MPLS (*ingress LSR*) y eliminan etiquetas a los paquetes que abandonan el dominio MPLS (*egress LSR*)
- **Intermediate LSR:** dentro del dominio MPLS y, principalmente, enrutan paquetes usando la información de las etiquetas

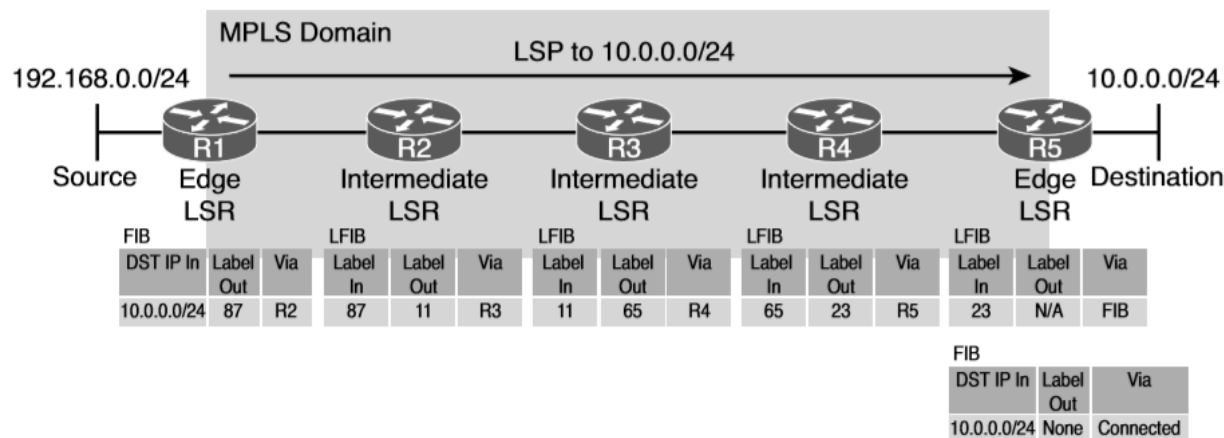


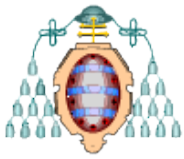
Fuente:  
CISCO CCNP Enterprise



# Label-Switched Path (LSP)

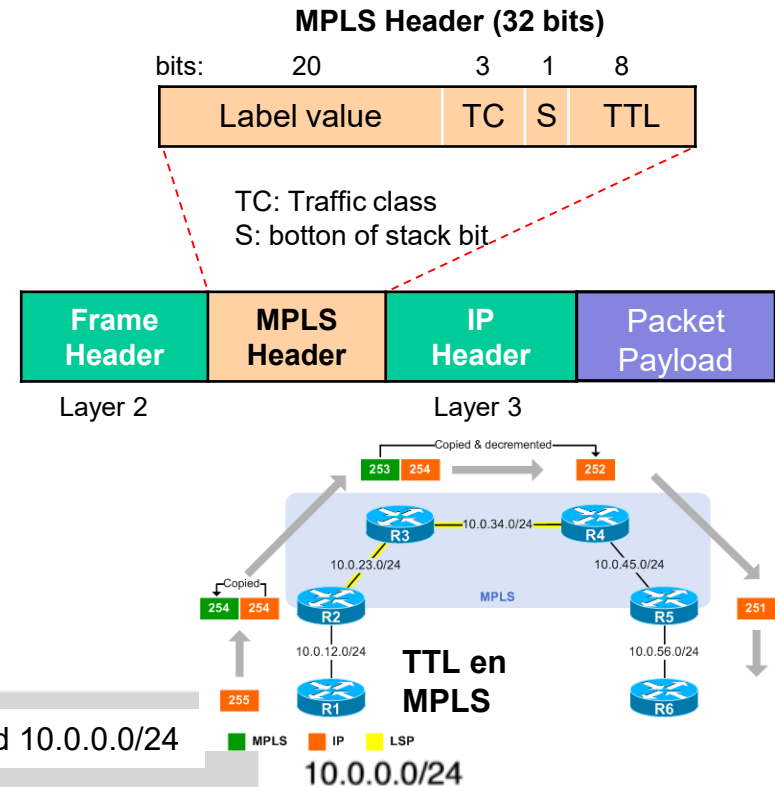
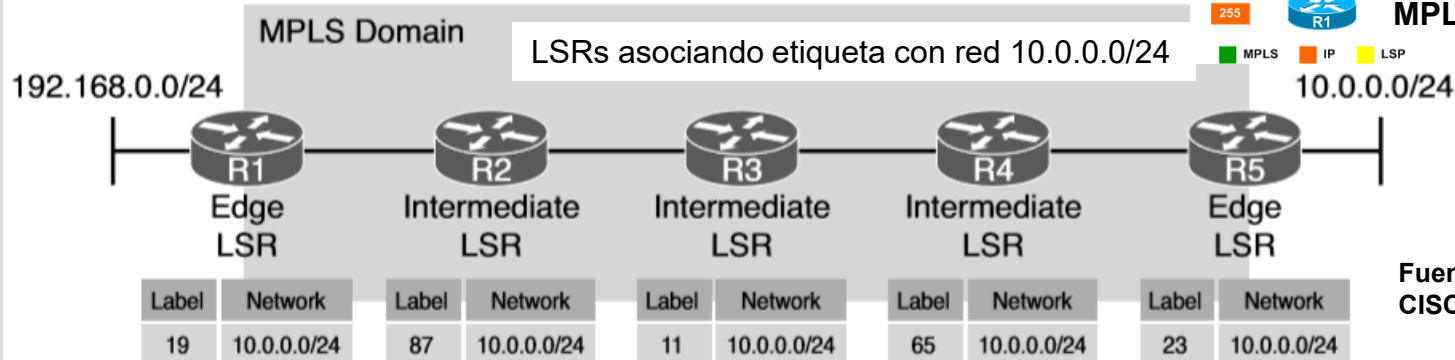
- LSP es la ruta (secuencia de routers) que sigue un paquete etiquetado a través del dominio MPLS
- LSP es unidireccional
  - En redes complejas, con multiples caminos origen-destino, es posible que el LSP de origen a destino sea diferente del LSP para el tráfico de vuelta
  - Habitualmente, el camino ida-vuelta es el mismo debido a la dinámica de funcionamiento de los protocolos de routing, como OSPF o EIGRP, que construyen rutas simétricas
- Ejemplo: LSP desde R1 hasta la red 10.0.0.0/24
  - Labels 87, 11, 65, 23
  - En la ruta, cada router examina la etiqueta para tomar las decisiones de reenvío, elimina la etiqueta, añade una nueva si es necesario y reenvía el paquete



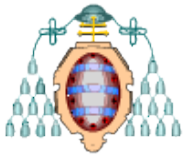


# Labels

- MPLS añade etiquetas a los paquetes de datos
- La etiqueta se añade entre las cabeceras Layer 2 y Layer 3
- Las etiquetas son de 4 bytes (32 bits)
- Los routers con MPLS asignan automáticamente etiquetas a todas las redes que conocen
  - Redes directamente conectadas a las interfaces
  - Redes “aprendidas” mediante la propagación de información de routing de protocolos de routing dinámicos como OSPF o EIGRP

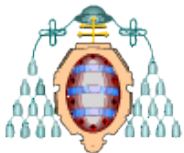


Fuente:  
CISCO CCNP Enterprise



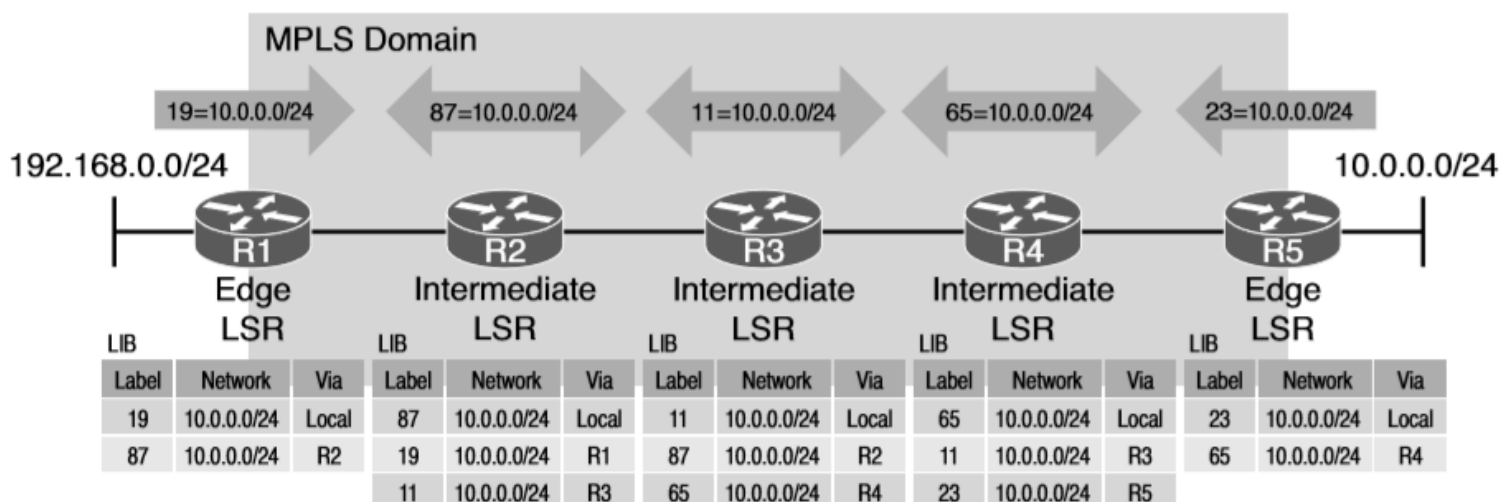
# Label Distribution Protocol

- Para construir el **LSP**, las etiquetas deben compartirse/distribuirse con **LSR** conectados directamente. Esto se hace mediante un protocolo de distribución de etiquetas como el Protocolo de distribución de etiquetas (**LDP**), que es el protocolo más común cuando se comparten/distribuyen etiquetas para prefijos IPv4.
- Cuando se ha habilitado MPLS en una interfaz, los paquetes Hello LDP se envían por la interfaz a la dirección multicast de destino 224.0.0.2 (la dirección multicast de todos los routers), utilizando el puerto UDP 646. Cualquier dispositivo en ese mismo enlace que también esté habilitado para MPLS y que recibe el paquete Hello forma una sesión LDP TCP usando el puerto 646 con el dispositivo vecino para que se pueda intercambiar la información de la etiqueta.
- Dentro del paquete Hello hay una LDP ID que se usa para identificar de manera única al vecino y el espacio de la etiqueta, que será por plataforma (la misma etiqueta se usa en todas las interfaces para un solo destino) o por interfaz (se usa una etiqueta diferente en cada interfaz para una sola red).
- Al establecer la sesión LDP TCP entre dos LSR, uno de los routers debe ser el router activo. El router activo es responsable de configurar la sesión TCP. El router con la LDP ID más alta se selecciona como el router activo y configura la sesión TCP entre los dos routers.



# Label Distribution Protocol

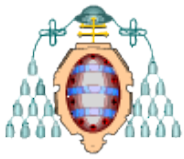
- R1 distribuye su etiqueta 19 para la red 10.0.0.0/24 a vecinos por sus interfaces MPLS-enabled
- R2 distribuye su etiqueta 87 para la red 10.0.0.0/24 a vecinos por sus interfaces MPLS-enabled
- R3 distribuye su etiqueta 11 para la red 10.0.0.0/24 a vecinos por sus interfaces MPLS-enabled
- R4 distribuye su etiqueta 65 para la red 10.0.0.0/24 a vecinos por sus interfaces MPLS-enabled
- R5 distribuye su etiqueta 23 para la red 10.0.0.0/24 a vecinos por sus interfaces MPLS-enabled



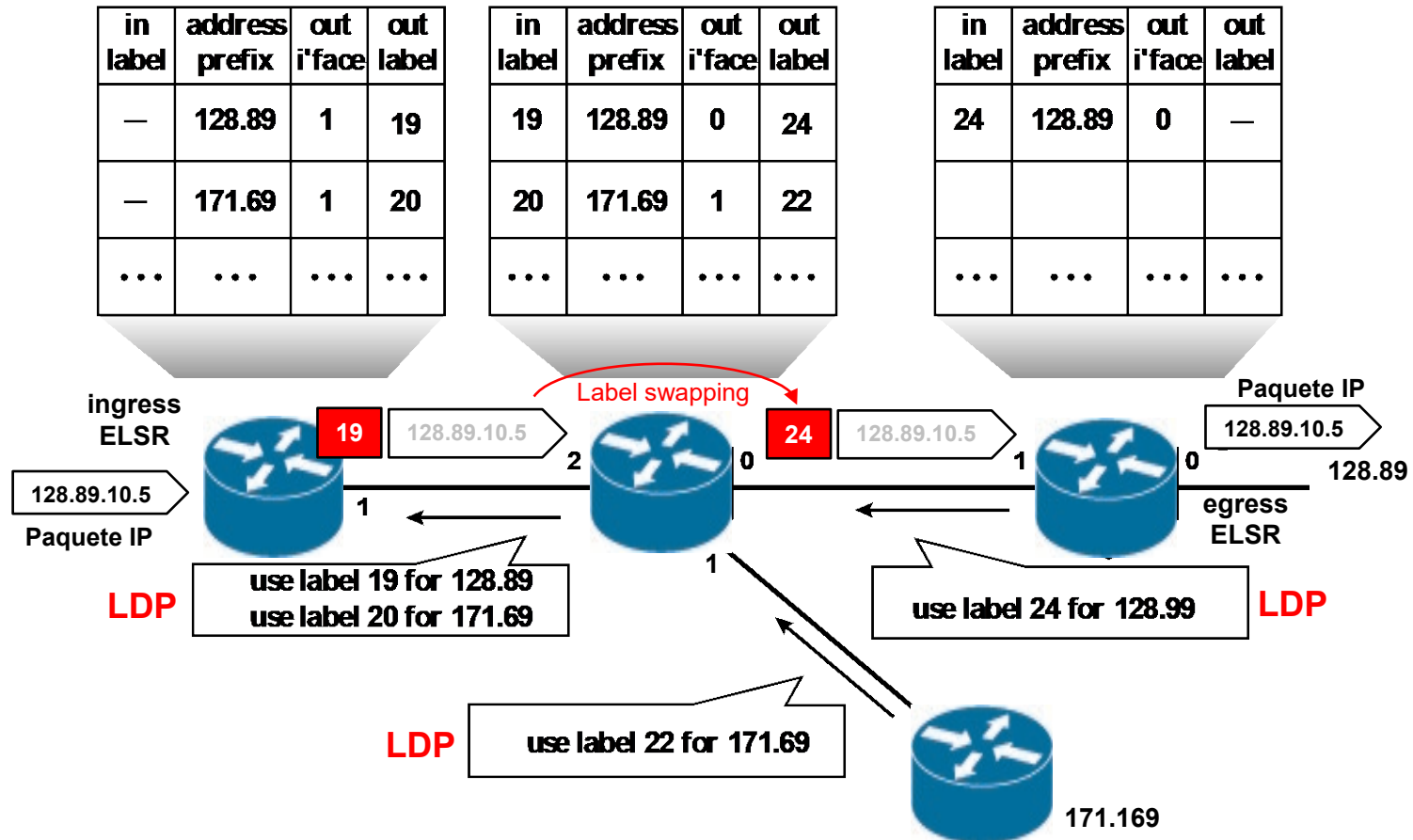
LSRs usando LDP para distribuir etiquetas a vecinos MPLS

Fuente:  
CISCO CCNP Enterprise



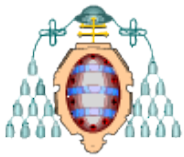


# Label Distribution Protocol



Asignado etiquetas mediante LDP

Fuente:  
Data and Computer Communications  
William Stallings



# Penultimate Hop Popping (PHP)

R5 hace dos lookups cuando recibe un paquete etiquetado con destino 10.0.0.0/24

- Busca en tabla **LFIB** al recibir un frame etiquetado
- Debe eliminar la etiqueta y tomar una decisión de reenvío basada en una segunda búsqueda en la table de rutas (**FIB**) para reenviar el paquete al destino

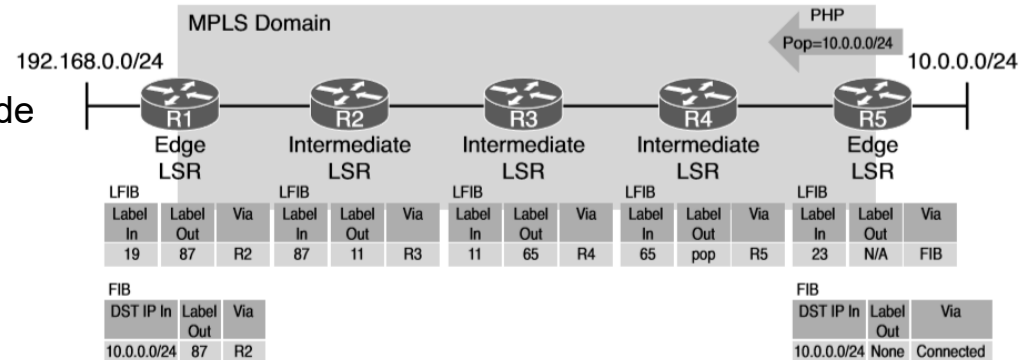
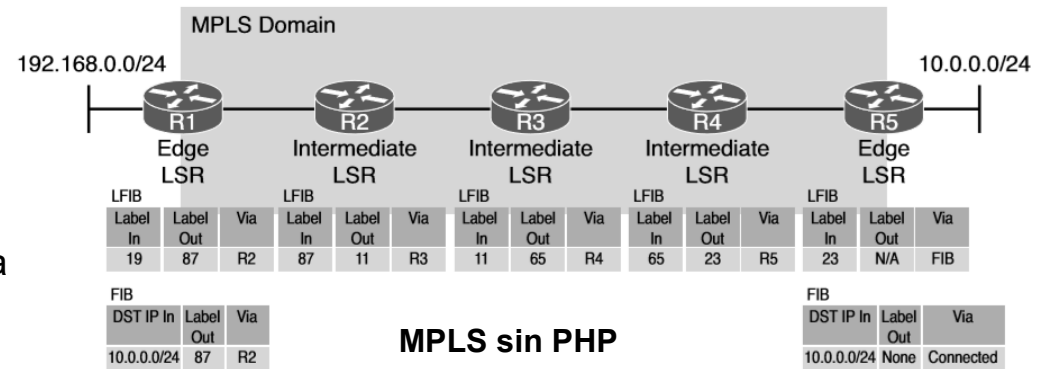
Este mecanismo no es eficiente

## Solución: PHP

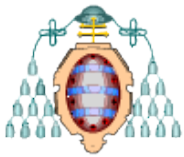
Con **PHP**, R4 quita la etiqueta (**pop**) antes de enviar el paquete a R5 con destino a la red 10.0.0.0/24.

R5 advierte previamente a R4 para que elimine (**pop**) la etiqueta

Descarga a R5 de la función de eliminar la etiqueta



Fuente:  
CISCO CCNP Enterprise

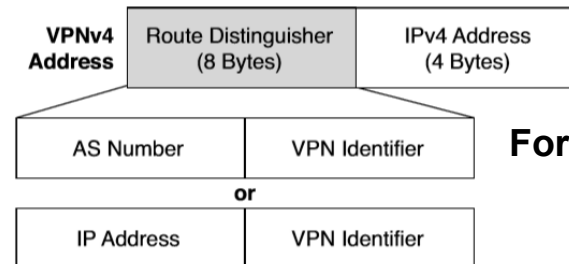


# MPLS Layer 3 VPN

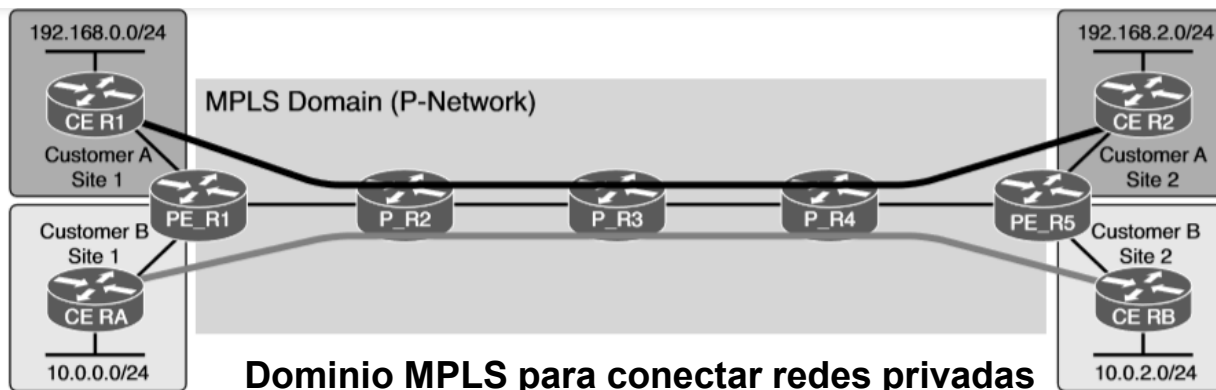
- Proporcionar conectividad peer-to-peer entre redes privadas de clientes (customer **C-network**) a través de redes públicas compartidas de proveedores (provider **P-network**)
- Hacer una ruta única para que los clientes no puedan ver las rutas de los otros
  - Diferenciar 192.168.0.0/24 en VPN-A de 192.168.0.0/24 en VPN-B
  - Customer A y Customer B pueden estar usando el mismo espacio de direcciones IP privadas
- Convierte rutas **IPv4** en rutas **VPNv4**

- VPNv4=RD:IPv4

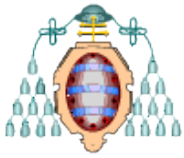
- Ruta única RD:IPaddr (96 bits)



**Formato de direcciones  
VPNv4**



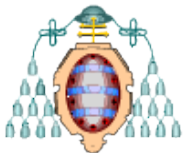
**Dominio MPLS para conectar redes privadas**



# MPLS Layer 3 VPN

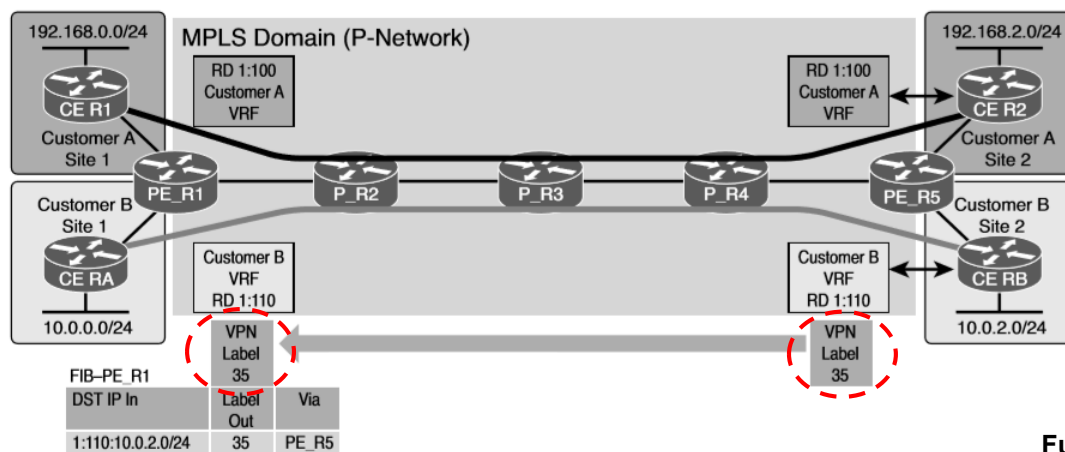
- Se requiere apilar etiquetas (**label stack**) para enviar tráfico a través del dominio MPLS. Son necesarias dos etiquetas:
  - Etiqueta para identificar la VPN
  - Etiquetas LDP para transportar el tráfico a través del dominio MPLS
- Cuando un paquete IP llega al router **PE**, éste adjunta las dos etiquetas
- El router **PE** de destino usa la etiqueta **VPN** para determinar el cliente
- La etiqueta LDP permite transportar tráfico de **PE** a **PE** a través del dominio MPLS
- Las etiquetas **VPN** las asignan los routers **PE** para identificar las **VPN** de los clientes



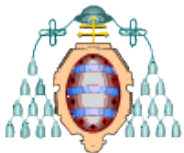


# Asignación VPN label

- PE\_R5 conoce la red 10.0.2.0/24 de CE\_RB, redistribuye y crea una ruta VPNv4 de 1:110:10.0.2.0/24
- PE\_R5 asigna la etiqueta 35 a la ruta VPNv4 y la comparte con PE\_R1
- Si PE\_R1 recibe un paquete IP con destino 10.0.2.0/24 añade la etiqueta 35 al paquete
- OJO: Esta etiqueta es conocida solo por los routers PE
  - Si un router P recibe un paquete con **label=35** lo descarta ya que no conoce esa etiqueta. Sólo los routers PE la conocen
- Así, es necesario utilizar etiquetas LDP para enrutar tráfico entre PE\_R1 y PE\_R5



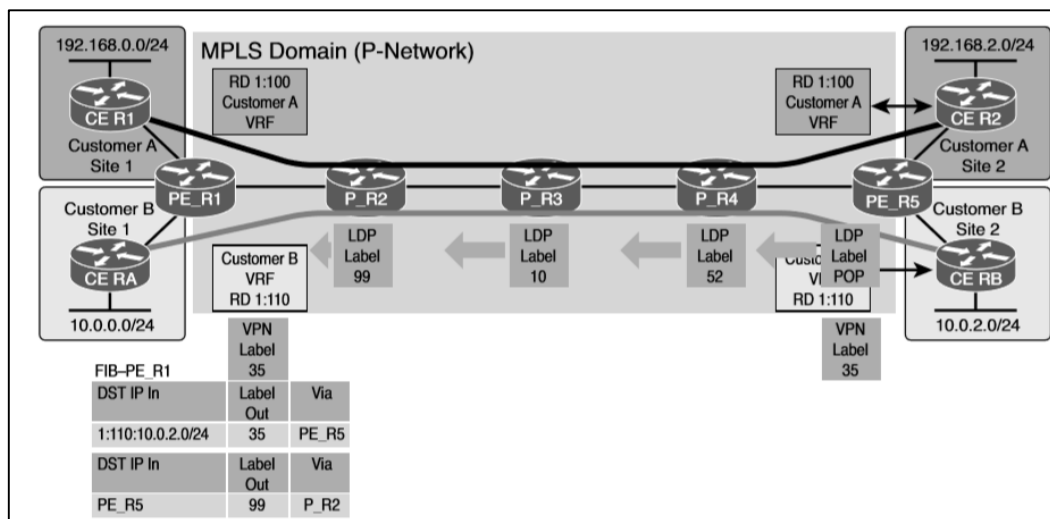
Fuente:  
CISCO CCNP Enterprise



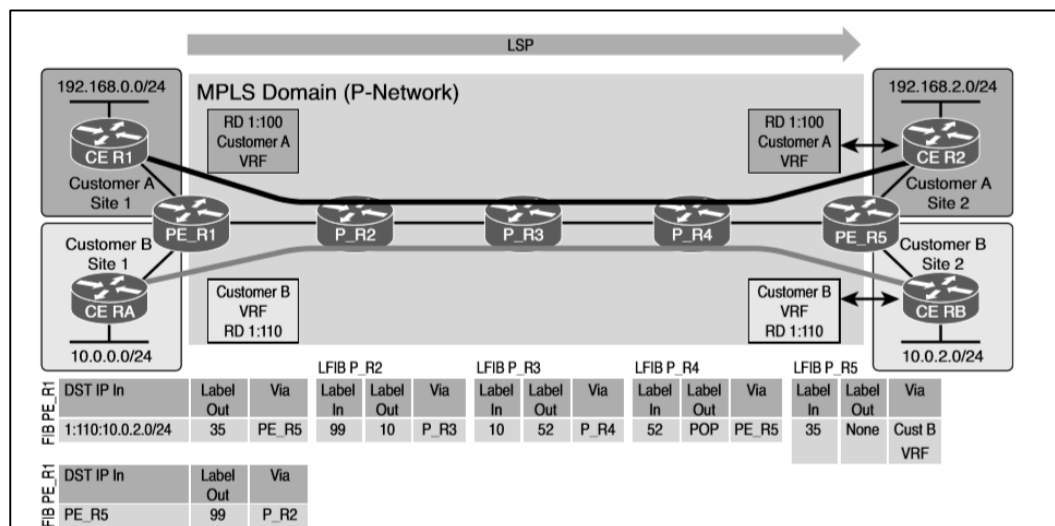
# Layer 3 VPN: Label Switched Path

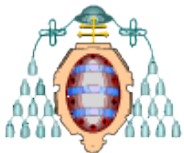
Ingeniería  
Telemática

## Asignación de etiquetas mediante LDP



## VPN Label Switched Path

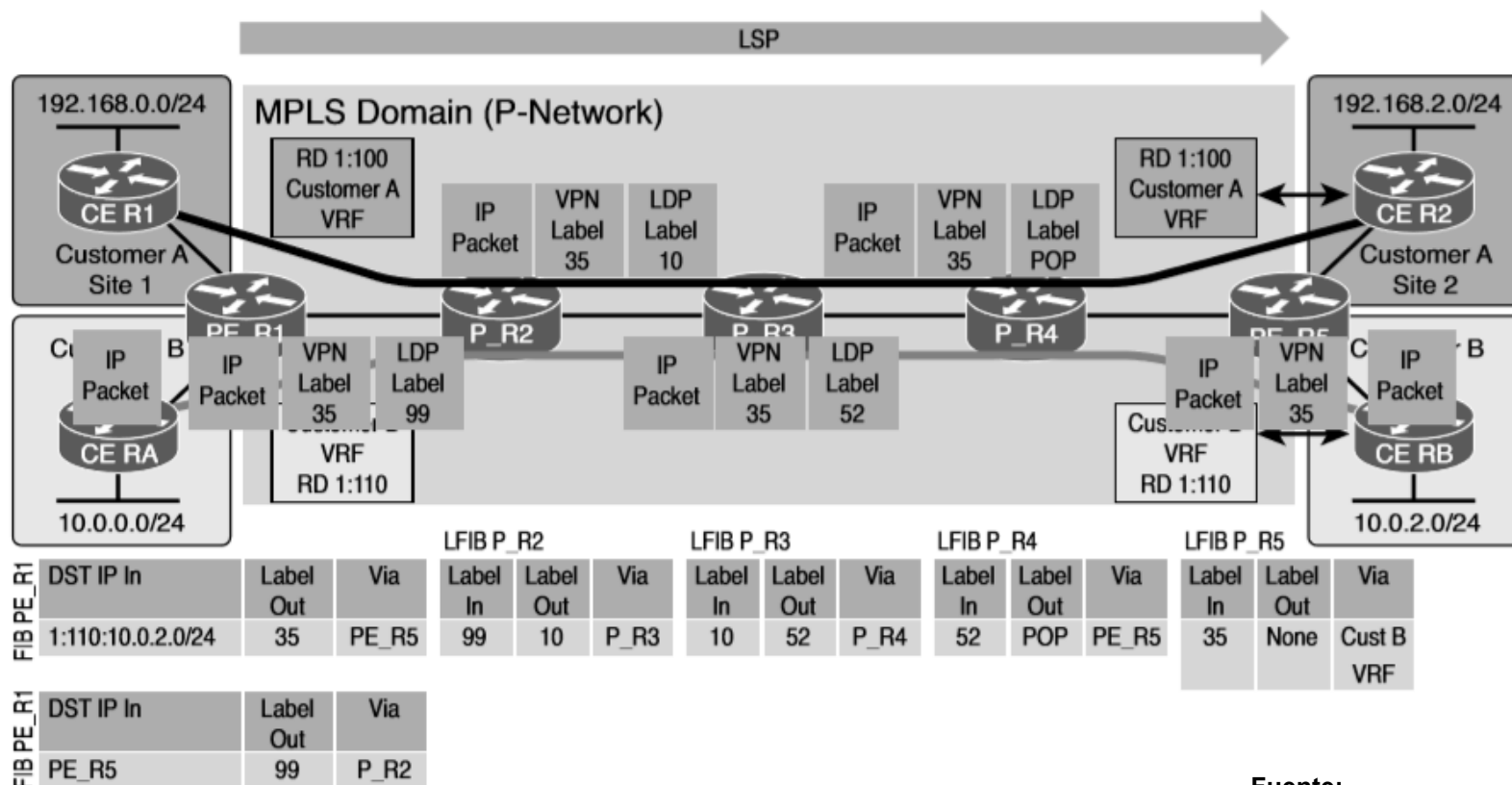




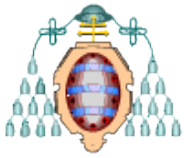
# Layer 3 VPN: Label Switched Path

Ingeniería  
Telemática

Paquete de 10.0.0.0/24 a 10.0.2.0/24 a través del domino MPLS L3 VPN



Fuente:  
CISCO CCNP Enterprise

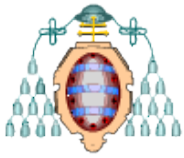


# Conclusiones

---

- **Multiprotocol label switching (MPLS)** combina el rendimiento y capacidades de la conmutación **Layer 2** con la escalabilidad del routing **Layer 3**
- **MPLS** permite a los proveedores de servicios cumplir con los desafíos del crecimiento en la utilización de la red además de posibilitar la diferenciación de servicios manteniendo la infraestructura de red existente
- La arquitectura **MPLS** es flexible y puede utilizarse con cualquier combinación de tecnologías **Layer 2** (Ethernet, ATM, PPP, ...)
- **MPLS** proporciona transporte para todos los protocolos **Layer 3** (IPv4, IPv6)
- **MPLS** soporta la creación de rutas diferentes entre un origen y un destino en un backbone de routers en Internet
- Incorporando **MPLS** en su arquitectura de red, los **ISPs** pueden incrementar sus ingresos y productividad, proporcionar servicios diferenciados y tener ventajas competitivas





# Bibliografía

*Ingeniería  
Telemática*

- Data and Computer Communications, Tenth Edition by William Stallings, (c) Pearson Education - Prentice Hall, 2013
- CISCO CCNP Enterprise: Advanced Routing. Chapter 18: VRF, MPLS, and MPLS Layer 3 VPNs
- MPLS Basic MPLS Configuration Guide. Cisco Systems, Inc. Last Modified: 2013-07-24