

# Ingeniería de Tráfico: MPLS

## Planificación y Despliegue de Redes y Servicios

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones y  
Sistemas Telemáticos y Computación

Noviembre 2018



©2018 Grupo de Sistemas y Comunicaciones.  
Algunos derechos reservados.  
Este trabajo se distribuye bajo la licencia  
Creative Commons Attribution Share-Alike  
disponible en <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/es>

# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Cabecera MPLS
- 3 Label Switch Router (LSR)
- 4 Label Switch Path (LSP)
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)
- 6 TTL
- 7 Reenvío MPLS
- 8 Referencias

# Contenidos

- 1 **Introducción**
- 2 Cabecera MPLS
- 3 Label Switch Router (LSR)
- 4 Label Switch Path (LSP)
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)
- 6 TTL
- 7 Reenvío MPLS
- 8 Referencias

# Introducción

- En el encaminamiento IP:
  - Los protocolos de encaminamiento calculan caminos óptimos (normalmente: los más cortos) hacia los destinos. Los routers intercambian información de encaminamiento para poder **construir sus tablas de encaminamiento**.
  - Una vez construidas las tablas, los routers las aplican para cada paquete fijándose **sólo en la dirección IP destino** del paquete. A esta función se le llama **reenvío o forwarding** de paquetes.
  - **En cada router** del camino entre el origen y el destino, el reenvío de un paquete requiere la **consulta la tabla de encaminamiento** (puede llegar a tener más de 400.000 entradas) para decidir cuál será el siguiente salto, **independientemente** de lo que se haya hecho otros routers.

# Ingeniería de tráfico

- El encaminamiento en Internet puede terminar causando problemas:
  - Los caminos más cortos desde diferentes orígenes se superponen en algunos enlaces, lo que puede terminar causando congestión en esos enlaces.
  - El tráfico desde un origen a un destino a través del camino más corto puede tener problemas con el ancho de banda máximo del que pueda disponer. Sin embargo, a través de un camino más largo podría no tener problemas de ancho de banda.
  - El hecho de que el encaminamiento IP no garantice que todos los paquetes de un mismo “flujo” vayan por el mismo camino, hace difícil poder garantizar una cierta calidad de servicio.
- La **Ingeniería de Tráfico** (*Traffic Engineering, TE*) consiste en controlar cómo viaja el tráfico a través de la red optimizando la utilización de recursos y el rendimiento de la misma.
- Actualmente todos los ISPs tienen estos problemas y utilizan la ingeniería de tráfico para la optimización de sus recursos y el rendimiento de la red.

# Fast Packet Switching

- Existen 2 tecnologías importantes que realizan la tarea del reenvío de paquetes (también llamada “conmutación de paquetes”) de forma particularmente rápida, permitiendo fácilmente transportar tráficos de diferente naturaleza (audio, video, etc) con garantías de calidad de servicio: **Frame Relay** y **ATM** (Asynchronous Transfer Mode). Ambas basadas en la conmutación de paquetes/celdas a través de circuitos virtuales.
- Ninguna de estas tecnologías funciona de forma óptima sobre una red TCP/IP.

# MPLS: MultiProtocol Label Switching

- **MPLS** es un protocolo de conmutación rápida de paquetes IP.
- Estándar desarrollado por el IETF desde 1997, RFC-3031 (2001).
- MPLS funciona sobre diferentes tecnologías de nivel 2 (ATM, Frame Relay, Ethernet) y proporciona:
  - QoS
  - Ingeniería de tráfico
  - Layer 3 VPNs (Virtual Private Networks).



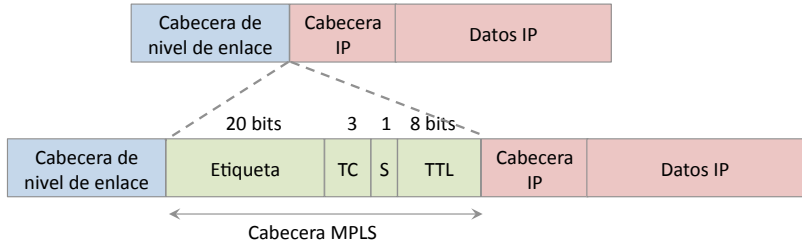
# Fundamentos de MPLS

- MPLS configura **Label Switched Paths (LSPs)** a través de enlaces cuya disponibilidad de recursos pueda garantizarse.
- Los LSPs no siempre coinciden con el camino más corto.
- MPLS integra funcionalidad del nivel 2 y del nivel 3.
- MPLS etiqueta los paquetes con una cabecera adicional: **la cabecera MPLS**. Los paquetes se reenvían a través de la red utilizando exclusivamente la cabecera MPLS, que es quien determina el **camino** que seguirán los paquetes.

# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Cabecera MPLS**
- 3 Label Switch Router (LSR)
- 4 Label Switch Path (LSP)
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)
- 6 TTL
- 7 Reenvío MPLS
- 8 Referencias

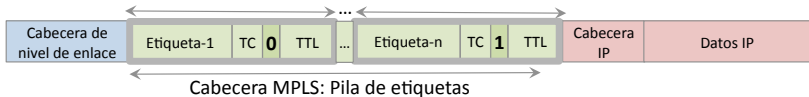
# Cabecera MPLS



- **Etiqueta:** los primeros 16 valores y del 1024 al 9999 están reservados.
- **TC** (Traffic Class): utilizado para QoS.
  - Sólo 3 bits, no se pueden representar todos los códigos DSCP (6 bits). Se utilizarán dependiendo de las clases definidas dentro de la red MPLS.
- **S** (Botom of Stack): utilizado para apilar etiquetas, es 1 en la última etiqueta.
- **TTL:** equivalente a TTL en IP.
  - Disminuyendo en una unidad en cada salto.

# Cabeceras MPLS anidadas: pila de etiquetas

- En algunos escenarios MPLS necesita más de una etiqueta para el reenvío de paquetes.
- La primera etiqueta se denomina *top label* y la última *botom label*.



# Contenidos

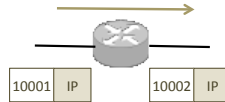
- 1 Introducción
- 2 Cabecera MPLS
- 3 Label Switch Router (LSR)**
- 4 Label Switch Path (LSP)
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)
- 6 TTL
- 7 Reenvío MPLS
- 8 Referencias

# Label Switch Router (LSR)

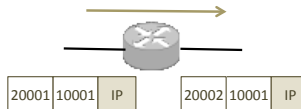
- Un **LSR** es un router que soporta la función de reenvío mediante etiquetas MPLS.
- Existen 3 clases de routers LSR:
  - **Ingress LSR**: Router de entrada a la red MPLS. Es responsable de añadir la etiqueta correspondiente y reenviar el paquete dentro de la red MPLS.
  - **Egress LSR**: Router de salida de la red MPLS. Es responsable de eliminar la etiqueta y reenviar el paquete fuera de la red MPLS.
  - **Intermediate LSR**: Router intermedio de la red MPLS. Recibe un paquete con etiqueta y reenvía dicho paquete dentro de la red MPLS.

# Reenvío de paquetes MPLS

- Un paquete que atraviesa un **Intermediate LSR** de una red MPLS, en el caso más sencillo, viajará con una cabecera MPLS que incluye en el campo etiqueta un valor de etiqueta que se irá modificando en cada salto.
  - Un router recibe un paquete con una determinada etiqueta MPLS y en función de la información que tiene almacenada sobre dicha etiqueta, modificará la cabecera MPLS para cambiar el valor de la etiqueta y reenviar el paquete.



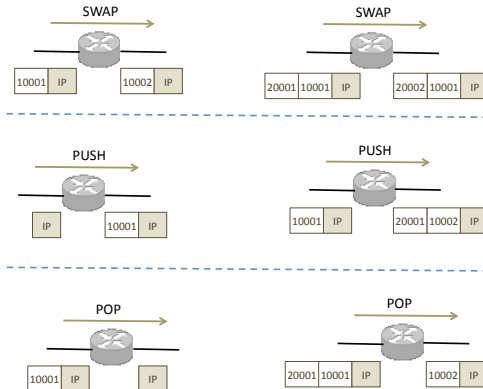
- En el caso en el que se reciba un paquete con varias cabeceras MPLS (varias etiquetas apiladas), se procesará la cabecera más externa (top label).



- Una etiqueta MPLS tiene significado local, sólo para un router.

# Operaciones Push/Pop/Swap

- Los LSRs pueden realizar 3 tipos de operaciones:
  - push**: añadir la etiqueta MPLS (lo normal en un LSR de entrada).
  - pop**: extraer la etiqueta MPLS (lo normal en un LSR de salida).
  - swap=pop+push**: cambiar una etiqueta MPLS por otra (lo normal en un LSR intermedio).
- Las operaciones push y pop además de realizarse en LSR-ingress y LSR-egress, se utilizan en los routers intermedios para el anidamiento de etiquetas.



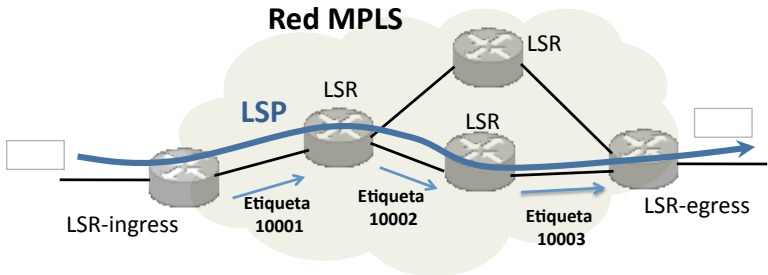


# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Cabecera MPLS
- 3 Label Switch Router (LSR)
- 4 Label Switch Path (LSP)**
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)
- 6 TTL
- 7 Reenvío MPLS
- 8 Referencias

# Label Switch Path (LSP)

- Un **LSP** es una secuencia de LSRs que reenvían un paquete etiquetado a través de una red MPLS:
  - El LSP estará formado por la secuencia de etiquetas que llevará un paquete a través de los LSRs que conformen el camino.
- Un LSP es unidireccional. Para la comunicación en ambos sentidos entre 2 máquinas deben de estar definidos 2 LSPs, uno en cada sentido.
- El primer LSR de un LSP debe ser un Ingress LSR y el último un Egress LSR.



# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Cabecera MPLS
- 3 Label Switch Router (LSR)
- 4 Label Switch Path (LSP)
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)**
- 6 TTL
- 7 Reenvío MPLS
- 8 Referencias

# Forwarding Equivalence Class (FEC)

- Una clase FEC es un grupo o flujo de paquetes que un router:
  - Reenvía al mismo siguiente salto
  - A través de la misma interfaz de salida
  - Con el mismo tratamiento (disciplina de cola)

Todos los paquetes de una clase FEC se reenviarán a través de un mismo LSP.

- El router que decide a que FEC pertenece un determinado paquete es el LSR ingress.
- Los criterios por los que se decide a qué FEC pertenece se basan en los datos de la cabecera IP/TCP-UDP que tiene el paquete:
  - Dirección IP origen/destino de los paquetes, números de puerto.
  - Con DiffServ: Campo DS o DSCP

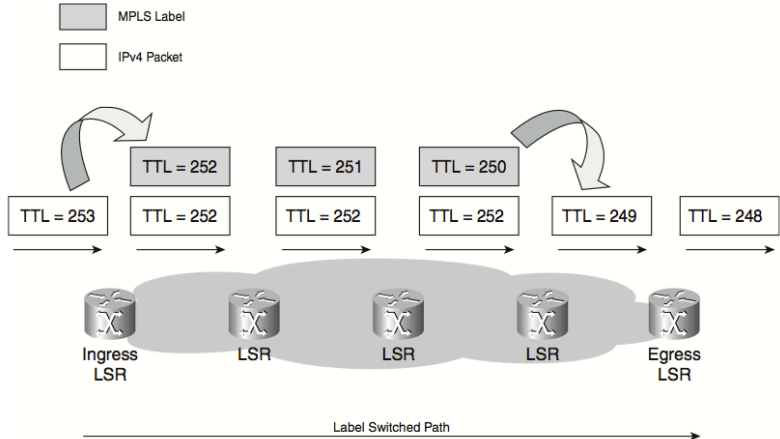
# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Cabecera MPLS
- 3 Label Switch Router (LSR)
- 4 Label Switch Path (LSP)
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)
- 6 TTL**
- 7 Reenvío MPLS
- 8 Referencias

# TTL

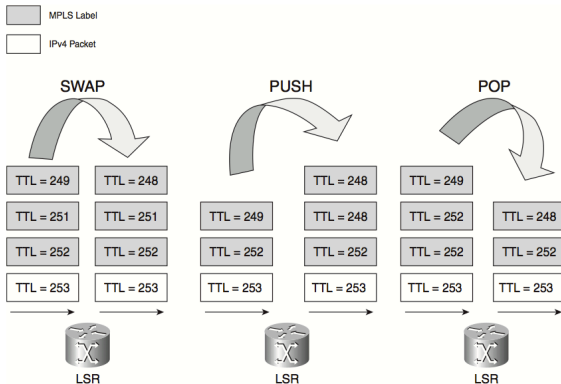
- La utilización del TTL en la cabecera MPLS tiene el mismo propósito que el del campo TTL en la cabecera IP: evitar que el paquete se reenvíe infinitamente en la red.
- Cuando un paquete IP entra en la red MPLS, el campo TTL de la cabecera IP se copia en la cabecera MPLS.
- Dentro de la red MPLS se reenvía el paquete únicamente utilizando la cabecera MPLS, la cabecera IP no se consulta. Cada vez que se reenvía un paquete MPLS, se disminuye en una unidad el valor del TTL de la cabecera MPLS.
- Al salir de la red MPLS, el valor del TTL de la cabecera MPLS se copia nuevamente en la cabecera IP.

# TTL: Cabecera IP → Cabecera MPLS → Cabecera IP



# TTL: Cabecera MPLS → Cabecera MPLS

- Al realizar swap de etiquetas, el campo TTL de la cabecera más externa se disminuye en una unidad.
- Al añadir una etiqueta MPLS en una pila de etiquetas, el campo TTL se copia desde la cabecera más externa a la cabecera añadida.
- Al eliminar una etiqueta MPLS en una pila de etiquetas, el campo TTL se copia desde la cabecera a eliminar a la siguiente cabecera en la pila de etiquetas.
- En todos los casos, en un salto se conserva la semántica tradicional de disminuir el TTL en 1 unidad.





# Contenidos

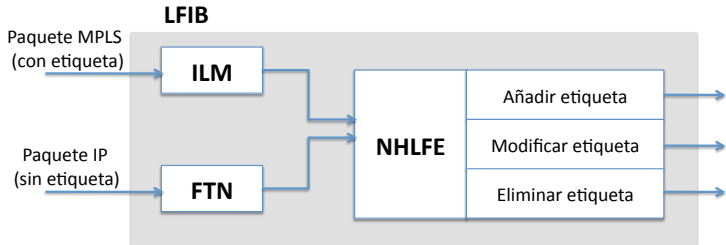
- 1 Introducción
- 2 Cabecera MPLS
- 3 Label Switch Router (LSR)
- 4 Label Switch Path (LSP)
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)
- 6 TTL
- 7 Reenvío MPLS**
- 8 Referencias

# Ámbito de las etiquetas MPLS

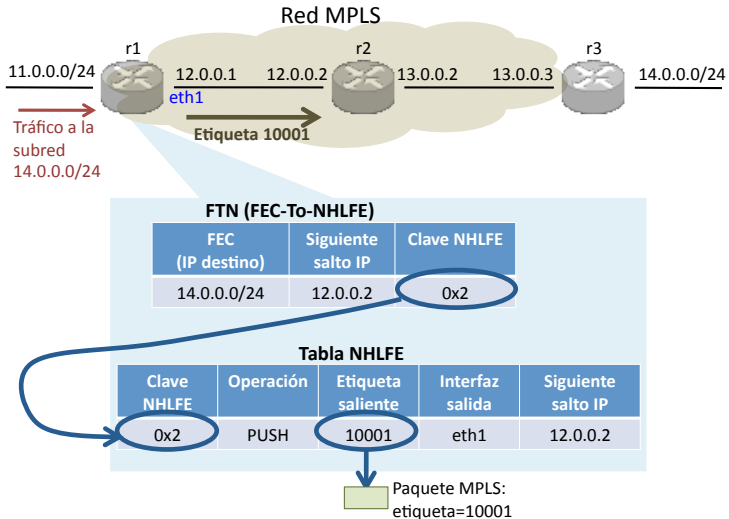
- El reenvío en MPLS dentro de un router se basa en la etiqueta recibida y la información que tenga almacenada el router sobre dicha etiqueta. Entre esa información se encuentra el **ámbito de la etiqueta** recibida.
- Dentro de un router, el ámbito de las etiquetas MPLS puede definirse de 2 formas:
  - **Por interfaz:** un paquete se reenvía utilizando la información de la etiqueta del paquete recibido y la interfaz de entrada a través de la cuál se ha recibido dicho paquete. Cada interfaz del router define su propio ámbito de etiquetas.
    - Si se reciben dos paquetes con la misma etiqueta a través de interfaces diferentes, se corresponderán con LSPs diferentes y cada paquete recibirá un tratamiento diferente.
  - **Por router:** un paquete se reenvía utilizando únicamente la información de la etiqueta del paquete recibido. Dentro de un router MPLS todas las etiquetas se encuentran definidas en un mismo ámbito.
    - Si se reciben dos paquetes con la misma etiqueta a través de interfaces diferentes, se corresponderán con un mismo LSP y ambos paquetes recibirán el mismo tratamiento.

# Tablas para el reenvío MPLS

- MPLS utiliza 3 tablas:
  - **NHLFE (Next Hop Label Forwarding Entry)**: gestiona las etiquetas de salida.
  - **ILM (Incoming Label Map)**: relaciona etiqueta de entrada con entrada NHLFE.
  - **FTN (FEC-To-NHLFE Map)**: relaciona parámetros que identifican FEC con una entrada en NHLFE.



# Entrada de un paquete en la red MPLS



# Reenvío de un paquete en la red MPLS

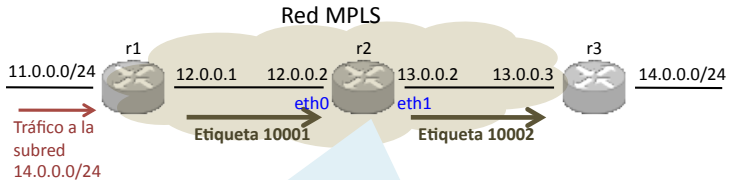


Tabla ILM

Etiqueta entrante	Ámbito Etiquetas	Clave NHLFE
10001	0	0x2

Espacio de etiquetas

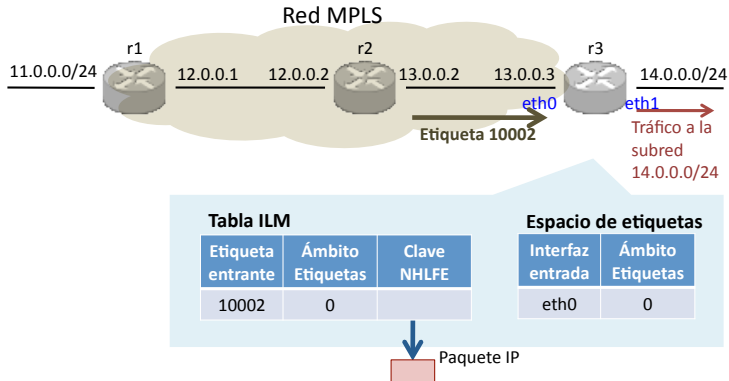
Interfaz entrada	Ámbito Etiquetas
eth0	0

Tabla NHLFE

Clave NHLFE	Operación	Etiqueta saliente	Interfaz salida	Siguiente salto IP
0x2	PUSH	10002	eth1	13.0.0.3

Paquete MPLS:  
etiqueta=10002

# Salida de un paquete de la red MPLS



# Distribución de etiquetas

- Los routers contiguos deben de estar de acuerdo en que etiquetas van a usar para poder enviar el paquete a través de un LSP. Para ello se puede utilizar configuración manual o un protocolo de distribución de etiquetas:
  - **Tag Distribution Protocol (TDP)**: propietario de Cisco (actualmente sustituido por LDP).
  - **Label Distribution Protocol (LDP)**: formalizado por el IETF RFC5036.
  - **Resource Reservation Protocol (RSVP)**: Protocolo de reserva de recursos, RFC2205, utilizado en IntServ.

# Contenidos

- 1 Introducción
- 2 Cabecera MPLS
- 3 Label Switch Router (LSR)
- 4 Label Switch Path (LSP)
- 5 Forwarding Equivalence Class (FEC)
- 6 TTL
- 7 Reenvío MPLS
- 8 Referencias**



# Referencias

- Luc De Ghein, **MPLS Fundamentals**, Cisco Press.