

PRÁCTICA: Configuración de MPLS en modo trama

Autor: Santiago Felici
15/07/2009

Objetivo

El objetivo de la presente práctica es familiarizarse con la tecnología y los conceptos de MPLS (Multiprotocol Label Switching), así como su configuración en una maqueta con routers de Cisco Systems.

Para ello, se realizarán las siguientes actividades:

- Configurar routing IP con OSPF en los routers
- Configurar en los routers protocolos de distribución de etiquetas (TDP y LDP)
- Adaptar el tamaño de Maximum Transmission Unit (MTU) para ser compatible con los requisitos de funcionamiento de MPLS
- Verificar el comportamiento de MPLS en la red, así como la comprobación de las variables (tablas) utilizadas por MPLS en su funcionamiento

Aunque los equipos utilizados son de un fabricante en particular, los conceptos introducidos en la presente práctica tienen carácter general.

Materiales necesarios

Para la realización de esta práctica es necesario disponer de:

- *Tres cables ethernet normales y un cable serie DTE-DCE*
- *Tres routers Cisco Systems de la serie 2600 equipados mínimo con 16 MB de Flash y 48 MB de RAM, con una interfaz serie y otra Ethernet, con la IOS Version 12.3(26) Telco Feature Set- General Deployment¹*
- *Un hub*
- *Tres ordenadores de consola para cada uno de los routers, uno de ellos equipado con un analizador de protocolos*

Prerrequisitos

Previa a la realización de esta práctica es necesario:

- Tener un conocimiento básico de configuración de los routers de Cisco Systems, así como los comandos de su sistema operativo IOS, para lo cual se remite a las prácticas realizadas previamente en esta u otras asignaturas
- Tener un conocimiento teórico de MPLS
- Haberse leído completamente esta práctica antes de empezar

¹ IOS Version 12.3(26) Telco Feature Set- General Deployment, RELEASE SOFTWARE (fc2)
“c2600-telco-mz.123-26.bin”

Introducción

La tecnología MPLS (Multiprotocol Label Switching) también es conocida como tecnología de la capa 2.5, porque realiza un encapsulado intermedio entre la capa de enlace (capa 2) y la capa de red (capa 3). En este encapsulado se introduce una etiqueta de 4 bytes, que permite a los routers utilizar técnicas de conmutación. El utilizar el etiquetado por debajo de capa 3, permite que MPLS pueda funcionar independientemente del protocolo de capa 3 utilizado, de ahí lo de “multiprotocol”. Esta arquitectura de etiquetado es flexible y permite anidar etiquetas, es decir, introducir una trama MPLS dentro de otra.

El objetivo de MPLS es separar la parte de encaminamiento de la parte de conmutación en el reenvío de los paquetes, de forma que mientras la parte de encaminamiento es compleja y lenta (tiempos de convergencia, cálculo de rutas), se realiza independientemente de la parte de conmutación, que es rápida y simple.

De forma muy simplificada, se podría decir que los routers inicialmente calculan todas las rutas (usando protocolos de routing IP) a los destinos y luego intercambiando etiquetas establecen los circuitos virtuales entre cualquier origen y cualquier destino para empezar a conmutar. Las etiquetas introducidas a los paquetes cuando entran en la red MPLS están asociadas al circuito virtual que seguirá el paquete en la red hacia un destino determinado y estas etiquetas se introducen en el paquete, antes de la cabecera de capa 3. Las etiquetas que se añaden sólo tienen significado local al nodo MPLS (el router) y van cambiando salto a salto. Así de esta manera, el paquete entra en la red (a través de los routers MPLS frontera) y se le añade una etiqueta según el circuito virtual para su destino, el paquete es conmutado dentro de la red (a través de los routers MPLS internos) cambiando en cada salto la etiqueta y finalmente sale de la red MPLS (a través de los routers MPLS frontera) próximo al destino, quitándole la etiqueta.

Las principales aplicaciones de MPLS son funciones de ingeniería de tráfico (a los flujos de cada usuario se les asocia una etiqueta diferente), routing basados en políticas (Policy Routing), servicios de VPN, servicios que requieren QoS , etc y según la aplicación, se necesitarán más o menos etiquetas, desde 1 hasta 3 o 4.

En el caso particular del fabricante Cisco Systems, la implementación de la tecnología MPLS tiene un precursor que es el Tag Switching y ocasionalmente aparecen literalmente estas palabras en las salidas de algún comando. En inglés “tag” y “label” son sinónimos.

Actualmente Cisco implementa MPLS basándose en la tecnología CEF (Cisco Express Forwarding) que es un nuevo esquema de encaminamiento utilizando soporte hardware para una conmutación rápida. La idea de CEF es que la tabla de rutas en cada router permita asignar las interfaces de salida para cada paquete sin tener que consultar la tabla de rutas tradicional, de forma que se ahorra tiempo. Se puede decir que el proceso de encaminamiento se hace utilizando hardware específico, evitando la consulta lenta en las tablas de rutas tradicionales. En las

versiones de IOS utilizadas en el laboratorio y en general que soportan MPLS en Cisco Systems, este modo está habilitado por defecto.

La terminología más importante y necesaria para esta práctica de MPLS es:

- 1 **FEC (Forwarding Equivalence Class)**: conjunto de paquetes que entran en la red MPLS por la misma interfaz, que reciben la misma etiqueta y por tanto circulan por un mismo trayecto. Normalmente se trata de paquetes que pertenecen a un mismo flujo.
- 2 **LSP (Label Switched Path)**: camino que siguen los paquetes que pertenecen a la misma FEC, es equivalente a un circuito virtual.
- 3 **LSR (Label Switching Router)** : router que puede encaminar paquetes en función del valor de la etiqueta MPLS
- 4 **LIB (Label Information Base) o TIB (Tag Information Base)**: La tabla de etiquetas que manejan los LSR. Relaciona la pareja (interfaz de entrada - etiqueta de entrada) con (interfaz de salida - etiqueta de salida). En versiones de IOS antiguas, en lugar de Label se utilizaba Tag y de ahí, que hay algunos comandos que utilizan “tag” en lugar de “label”.
- 5 **LDP o TDP (Label o Tag Distribution Protocol)**: protocolo utilizado para distribución de etiquetas MPLS. LDP es la versión estandarizada e integrada en las IOS con versiones 12.4(3) o superior y TDP es una versión precursora propietaria definida por Cisco Systems que ha sido reemplazada por LDP. Podríamos decir que TDP está incluido en LDP.
- 6 **FIB (Forwarding Information Base)**: en pocas palabras es la tabla de rutas del router, pero con soporte hardware, basado en CEF. Esta tabla se actualiza automáticamente a petición de los protocolos de routing.
- 7 **LFIB (Label Forwarding Information Base)**: es la tabla que asocia las etiquetas con los destinos o rutas de capa 3 y la interfaz de salida en el router, indicándole al router lo que tiene que hacer: poner o quitar etiqueta.
- 8 **LIB (Label Information Base)**: es la tabla que contiene sólo información de etiquetas MPLS y es utilizada por LDP (o TDP) para la gestión y envío de las etiquetas.
- 9 **PHP (Penultimate Hop Popping)**: es una alternativa de entrega de trama MPLS al final del circuito virtual, para mejorar las prestaciones y el consumo de CPU. Consiste en quitar la etiqueta MPLS cuando se sabe que el siguiente router no necesita la etiqueta MPLS por estar la red directamente conectada a él o ser el final del circuito virtual. De esta forma, se evita hacer una doble búsqueda en dicho router, tanto en la tabla de LFIB y en la tabla de rutas. Es el modo de funcionamiento por defecto en los routers de Cisco Systems.

La implementación de MPLS en los routers de Cisco Systems se realiza utilizando una arquitectura basada en dos planos, el plano de control (para routing y protocolos de gestión de MPLS) y el plano de datos donde se realiza la conmutación utilizando las etiquetas.

Para el funcionamiento de MPLS, una vez el router tiene la tabla FIB completa por el protocolo de routing, a cada destino que aparece en dicha tabla, le asocia una etiqueta y la anuncia a sus vecinos utilizando LDP (o TDP). Esta asociación queda

Práctica de MPLS

registrada en la tabla LIB en el plano de control. El plano de datos, que es el que realiza el trabajo de commutación, lo que hace es mantener las tablas de FIB (para enrutar los paquetes de red directamente) y la tabla LFIB (para commutar las tramas MPLS utilizando las etiquetas y reenviar la trama a la interfaz de salida correspondiente).

De forma simplificada en la figura 1 y 2 se explica el funcionamiento del MPLS utilizando las tablas LIB, LFIB y FIB.

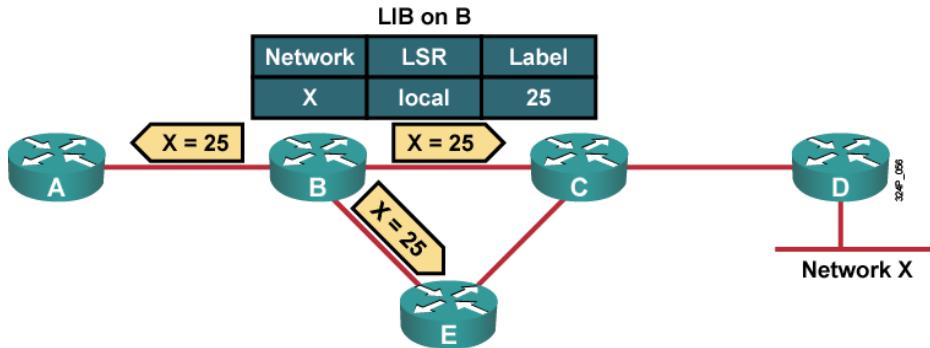


Figura 1: En esta figura se observa que la red X (network X) es anunciada por el router D y el router B la tiene en su tabla de rutas. Para ese destino (red X), el router B elige una etiqueta, en concreto la 25 y envía su decisión a los routers vecinos A, E y C respectivamente por LDP. La asociación realizada queda registrada en la tabla LIB del router B. Ahora, cuando el router A tenga que enviar a la red X, el router A encapsulará el paquete dirigido a X en una trama MPLS con etiqueta 25, dado que B sabe qué hacer con dicha etiqueta.

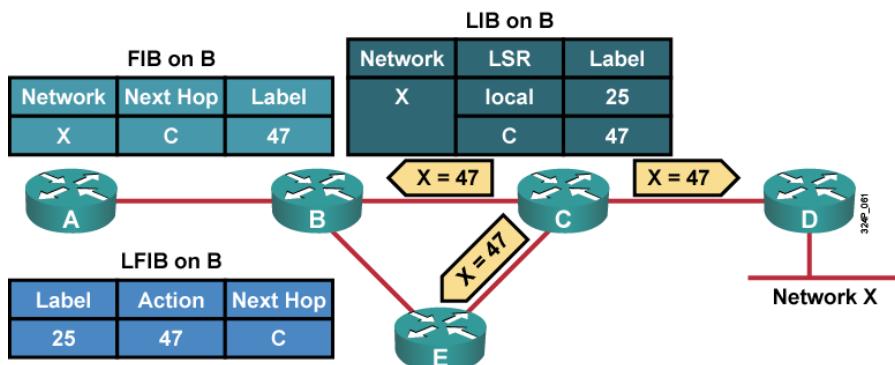


Figura 2: Una vez tenemos las tablas inicializadas, FIB, LIB y LFIB en el router B, cuando llegue un paquete del router A con etiqueta 25, el router B sabe que tiene que cambiar la etiqueta a 47 consultando la tabla LFIB y commutar, es decir sacarla por la interfaz que conecta con el router C.

Esquema de la red MPLS a implementar

En la presente maqueta hay 3 routers que forman la red MPLS como muestra la figura 3. Por simplificación, se han introducido las interfaces virtuales de Loopback, para representar las LAN para las redes 172.16.1.0/24, 172.16.2.0/24 y 172.16.3.0/24 en los routers R1, R2 y R3 respectivamente. Las conexiones entre los routers son: R1-R2 por LAN 172.16.12.0/24 y conexión serie R2-R3 con 172.16.23.0/24.

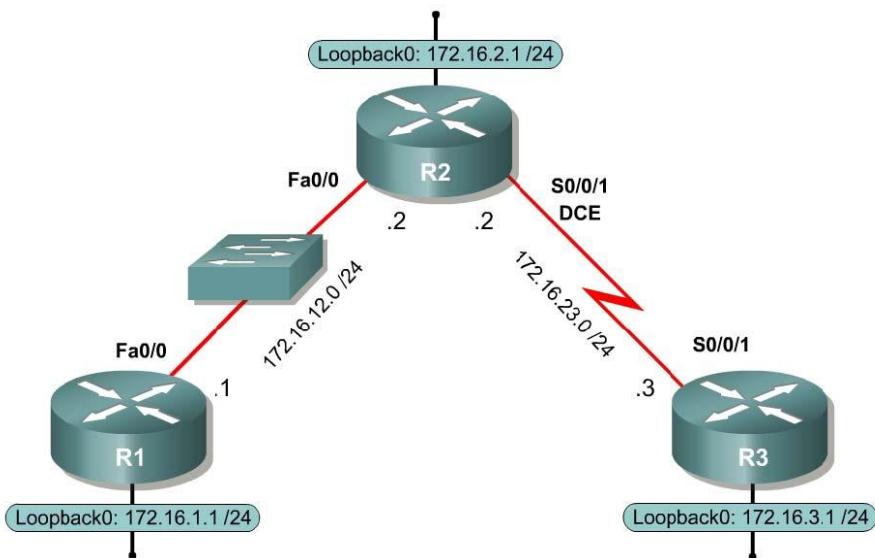


Figura 3: Esquema conexión de los 3 routers con detalle del direccionamiento IP.
Para el desarrollo de la práctica, en lugar del switch de la LAN de R1-R2 se conectarán un hub.

Paso 0: Cableado e inicialización de los routers

Cablea la maqueta tal como se indica en la figura 3, pero en lugar de conectar un switch entre R1 y R2, vamos a conectar un hub. Seguidamente conéctate por consola a los diferentes equipos, borra su configuración si es necesario (con los comandos “*erase startup configuration*” y “*reload*”) y establece el nombre asignado en las maquetas a cada router utilizando los siguientes comandos. Este ejemplo sería para el caso del router R1.

```
>enable
#erase star
#reload
```

Would you like to enter the initial configuration dialog? [yes/no] : no

```
Router>enable
Router#configure terminal
Router(config)#hostname R1
R1(config)#no ip domain-lookup
R1(config)#exit
```

Práctica de MPLS

Nota 1: El comando `R1(config)#no ip domain-lookup` evita la consulta al DNS en caso de equivocar un comando, dado que este error se interpretará como un nombre a resolver por el DNS al cual establecer conexión telnet.

Comprueba los nombres utilizados por el sistema operativo para cada una de las interfaces físicas de los routers con el siguiente comando. El nombre de las interfaces puede variar según equipos y según el sistema operativo utilizado.

```
#show ip interface brief
```

Router\interfaz		
R1	Ethernet 0/0	Serial 0/0
R2	Ethernet 0/0	Serial 0/0
R3	Ethernet 0/0	Serial 0/0

Paso 1: Configuración del direccionamiento IP

Configura las interfaces de todos los routers con las direcciones de la figura 3, tanto las interfaces físicas (Ethernet y serie) como las de *Loopback*. Utiliza en cada caso el nombre asignado a cada interfaz tal como viste en el paso anterior. En las interfaces serie además añade el comando “*clock rate*” y habilítalas con el comando “**no shutdown**”.

Esta es la configuración necesaria para R1, R2 y R3 respectivamente:

```
R1(config)# interface loopback 0
R1(config-if)# ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)# no shutdown
R1(config-if)# interface ethernet 0/0
R1(config-if)# ip address 172.16.12.1 255.255.255.0
R1(config-if)# no shutdown

R2(config)# interface loopback 0
R2(config-if)# ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
R2(config-if)# no shutdown
R2(config-if)# interface ethernet 0/0
R2(config-if)# ip address 172.16.12.2 255.255.255.0
R2(config-if)# no shutdown
R2(config-if)# interface serial 0/0
R2(config-if)# ip address 172.16.23.2 255.255.255.0
R2(config-if)# clockrate 64000
R2(config-if)# no shutdown

R3(config)# interface loopback 0
R3(config-if)# ip address 172.16.3.1 255.255.255.0
R3(config-if)# no shutdown
R3(config-if)# interface serial 0/0
R3(config-if)# ip address 172.16.23.3 255.255.255.0
R3(config-if)# clockrate 64000
R3(config-if)# no shutdown
```

Paso 2: Configura OSPF en todos los routers

Práctica de MPLS

Configura OSPF en los 3 routers de la maqueta en el área 0. Para ello configura la clase mayor de las diferentes subredes utilizadas, dado que los routers anunciarán solamente las subredes que tienen directamente conectadas.

```
R1(config)# router ospf 1
R1(config-router)# network 172.16.0.0 0.0.255.255 area 0

R2(config)# router ospf 1
R2(config-router)# network 172.16.0.0 0.0.255.255 area 0

R3(config)# router ospf 1
R3(config-router)# network 172.16.0.0 0.0.255.255 area 0
```

Con ello podremos observar que se establecen las adyacencias y se anuncian las redes.

¿Podría funcionar MPLS si no hubiera conectividad IP?

Paso 3: Comprobación de la conectividad IP y del funcionamiento de CEF (Cisco Express Forwarding)

Utilizando el comando “*show ip route*” podremos observar todas las redes anunciadas. Comprueba las tablas de routing en cada router. Destacar que las rutas directamente conectadas utilizan el código C y las de OSPF de O. Las interfaces de Loopback siempre se anuncian con /32. La información entre corchetes es [*distancia administrativa, métrica*], que en el caso de OSPF es 110 la distancia administrativa y la métrica se calcula como la suma de los costes de los enlaces hasta el destino. El coste de los enlaces es inversamente proporcional a su velocidad. Cada ruta además tiene asociada el siguiente salto, la antigüedad y la interfaz de salida.

```
R1#show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
      ...
      172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
O        172.16.23.0/24 [110/74] via 172.16.12.2, 00:04:08, Ethernet0/0
C        172.16.12.0/24 is directly connected, Ethernet0/0
C        172.16.1.0/24 is directly connected, Loopback0
O        172.16.3.1/32 [110/75] via 172.16.12.2, 00:04:08, Ethernet0/0
O        172.16.2.1/32 [110/11] via 172.16.12.2, 00:04:08, Ethernet0/0
```

```
R2#show ip route
...
      172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
```

Práctica de MPLS

```
C      172.16.23.0/24 is directly connected, Serial0/0
C      172.16.12.0/24 is directly connected, Ethernet0/0
O      172.16.1.1/32 [110/11] via 172.16.12.1, 00:02:35, Ethernet0/0
O      172.16.3.1/32 [110/65] via 172.16.23.3, 00:02:35, Serial0/0
C      172.16.2.0/24 is directly connected, Loopback0

R3#show ip route
...
    172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
C      172.16.23.0/24 is directly connected, Serial0/0
O      172.16.12.0/24 [110/74] via 172.16.23.2, 00:00:08, Serial0/0
O      172.16.1.1/32 [110/75] via 172.16.23.2, 00:00:08, Serial0/0
C      172.16.3.0/24 is directly connected, Loopback0
O      172.16.2.1/32 [110/65] via 172.16.23.2, 00:00:09, Serial0/0
```

Haz ping extendido a todas las interfaces y comprueba la conectividad IP. Comprueba que haya conectividad IP a todas las interfaces. Haz uso del **ping extendido** para modificar la IP origen de los paquetes IP del ping. El ping extendido se realiza tecleando “ping” sin especificar destino. Con ello el router nos preguntará toda la información para elaborar el paquete. Si no funcionara el ping, soluciona el problema analizando las conexiones y las configuraciones realizadas en cada uno de los routers.

¿Existe alguna interfaz que no conteste al ping?

En el router R1 y R3, si ejecutaras el comando “**traceroute**” a la interfaz de Loopback de R3 y R1 respectivamente, podrías observar el camino realizado por el paquete.

```
R1#traceroute 172.16.3.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.16.3.1
1 172.16.12.2 4 msec 4 msec 0 msec
2 172.16.23.3 16 msec * 12 msec

R3#traceroute 172.16.1.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.16.1.1
1 172.16.23.2 4 msec 4 msec 0 msec
2 172.16.12.1 20 msec * 16 msec
```

¿Cuál es la función de CEF?

Podemos ver que CEF está activado por defecto con el siguiente comando

Práctica de MPLS

“**show ip cef**” command.

```
R1#show ip cef
Prefix          Next Hop           Interface
0.0.0.0/0       drop              Null0 (default route handler entry)
0.0.0.0/32      receive
172.16.1.0/24   attached
172.16.1.0/32   receive
172.16.1.1/32   receive
172.16.1.255/32 receive
172.16.2.1/32   172.16.12.2      Ethernet0/0
172.16.3.1/32   172.16.12.2      Ethernet0/0
172.16.12.0/24  attached
172.16.12.0/32  receive
172.16.12.1/32  receive
172.16.12.2/32 172.16.12.2      Ethernet0/0
172.16.12.255/32 receive
172.16.23.0/24  172.16.12.2      Ethernet0/0
224.0.0.0/4     drop
224.0.0.0/24     receive
255.255.255.255/32 receive
```

Realmente CEF permite asociar una etiqueta, en el caso de IP la etiqueta es una dirección IP, con una interfaz de salida y con información de capa 2 del siguiente salto para el reenvío. De ahí que Cisco Systems utilice esta tabla FIB para la implementación de MPLS cuando la etiqueta que se utiliza es la etiqueta de MPLS. Si CEF no estuviera habilitado, se habilita con el comando “**ip cef**”.

Paso 4: Habilita MPLS en todas las interfaces físicas

Para habilitar MPLS en los routers, hay que indicar qué interfaces del router van a participar en este protocolo. Para ello iremos configurando en dichas interfaces del router el comando “**mpls ip**” de forma que indicamos al router que commute en entrada y salida las tramas MPLS que reciba o envíe, así como que detecte vecindades de routers MPLS con el protocolo de distribución de etiquetas. Como la versión de IOS utilizada es menor que la 12.4(3), este protocolo es el TDP por defecto en Cisco Systems. Más tarde cambiaremos a LDP. A efectos prácticos, no hay diferencia entre uno y otro protocolo, a no ser que se busque compatibilidad con otro fabricante que no es el caso.

Configura MPLS en todas las interfaces físicas (no en las interfaces virtuales o de loopback) de los routers de la figura 3.

```
R1(config)# interface ethernet0/0
R1(config-if)# mpls ip

R2(config)# interface ethernet0/0
```

Práctica de MPLS

```
R2(config-if)# mpls ip
*Mar 1 00:42:34.996: %LDP-5-NBRCHG: TDP2 Neighbor 172.16.1.1:0 is UP
R2(config-if)# interface serial0/0
R2(config-if)# mpls ip

R3(config)# interface serial0/0
R3(config-if)# mpls ip
*Mar 1 00:44:44.164: %LDP-5-NBRCHG: TDP Neighbor 172.16.2.1:0 is UP
```

Date cuenta que cuando configures MPLS en los dos extremos de una conexión, aparecen mensajes del sistema operativo en ambos routers indicando que TDP ha creado nueva vecindad.

Paso 5: Verifica la configuración de MPLS

Para comprobar el funcionamiento de MPLS vamos a utilizar los comandos “**show**” disponibles para MPLS. Para ver de qué comandos disponemos utilizamos el comando “?”

```
R1#show mpls ?
atm-ldp          ATM LDP Protocol information
forwarding-table Show the Label Forwarding Information Base (LFIB)
interfaces       Per-interface MPLS forwarding information
ip               MPLS IP information
label            Label information
ldp              Label Distribution Protocol information
traffic-eng     Traffic engineering information
```

En primer lugar para ver rápidamente las interfaces trabajando con MPLS ejecutaremos “**show mpls interfaces**” y saber qué protocolo de intercambio de etiquetas usan.

```
R1# show mpls interfaces
Interface          IP           Tunnel   Operational
Ethernet0/0        Yes (tdp)    No        Yes

R2# show mpls interfaces
Interface          IP           Tunnel   Operational
Ethernet0/0        Yes (tdp)    No        Yes
Serial0/0          Yes (tdp)    No        Yes

R3# show mpls interfaces
Interface          IP           Tunnel   Operational
Serial0/0          Yes (tdp)    No        Yes
```

Otros comandos disponibles son:

- 1 **show mpls ldp discovery** para observar información de TDP (o LDP), como el identificativo del router MPLS y los vecinos.
- 2 **show mpls ldp neighbor** para detección de las adyacencias de TDP (o

² TDP (Tag Distribution Protocol) es una herencia de la versión precursora del LDP (Label Distribution Protocol).

Práctica de MPLS

LDP) y el estado de las conexiones establecidas.

Destacar que en cada router MPLS se utiliza como identificativo para hablar con sus vecinos, la IP más alta de sus propias interfaces de loopback y si no dispone de interfaces de loopback, de cualquier interfaz física, al igual que pasa con otros protocolos como OSPF, BGP etc

```
R1#show mpls ldp discovery
Local LDP Identifier:
  172.16.1.1:0
Discovery Sources:
Interfaces:
  Ethernet0/0 (tdp): xmit/recv
    TDP Id: 172.16.2.1:0

R1#show mpls ldp nei
Peer TDP Ident: 172.16.2.1:0; Local TDP Ident 172.16.1.1:0
  TCP connection: 172.16.2.1.19940 - 172.16.1.1.711
  State: Oper; PIES sent/rcvd: 0/15; Downstream
  Up time: 00:10:26
  TDP discovery sources:
    Ethernet0/0, Src IP addr: 172.16.12.2
  Addresses bound to peer TDP Ident:
    172.16.12.2      172.16.23.2      172.16.2.1

R2#show mpls ldp discovery
Local LDP Identifier:
  172.16.2.1:0
Discovery Sources:
Interfaces:
  Ethernet0/0 (tdp): xmit/recv
    TDP Id: 172.16.1.1:0
  Serial0/0 (tdp): xmit/recv
    TDP Id: 172.16.3.1:0

R2#show mpls ldp nei
Peer TDP Ident: 172.16.1.1:0; Local TDP Ident 172.16.2.1:0
  TCP connection: 172.16.1.1.711 - 172.16.2.1.19940
  State: Oper; PIES sent/rcvd: 0/23; Downstream
  Up time: 00:17:12
  TDP discovery sources:
    Ethernet0/0, Src IP addr: 172.16.12.1
  Addresses bound to peer TDP Ident:
    172.16.12.1      172.16.1.1
Peer TDP Ident: 172.16.3.1:0; Local TDP Ident 172.16.2.1:0
  TCP connection: 172.16.3.1.40446 - 172.16.2.1.711
  State: Oper; PIES sent/rcvd: 0/20; Downstream
  Up time: 00:14:16
  TDP discovery sources:
    Serial0/0, Src IP addr: 172.16.23.3
  Addresses bound to peer TDP Ident:
    172.16.23.3      172.16.3.1

R3#show mpls ldp discovery
Local LDP Identifier:
  172.16.3.1:0
Discovery Sources:
```

Práctica de MPLS

```
Interfaces:  
  Serial0/0 (tdp): xmit/recv  
    TDP Id: 172.16.2.1:0  
  
R3#sho mpls ldp nei  
Peer TDP Ident: 172.16.2.1:0; Local TDP Ident 172.16.3.1:0  
  TCP connection: 172.16.2.1.711 - 172.16.3.1.40446  
  State: Oper; PIES sent/rcvd: 0/24; Downstream  
  Up time: 00:18:05  
  TDP discovery sources:  
    Serial0/0, Src IP addr: 172.16.23.2  
    Addresses bound to peer TDP Ident:  
      172.16.12.2      172.16.23.2      172.16.2.1
```

¿Qué protocolo de transporte utiliza LDP (o TDP) para comunicarse con sus vecinos?

Paso 6: Estudio de las tablas LIB y LFIB

Con la configuración introducida en el paso anterior, los routers actúan como Label Switch Routers (LSRs) y ejecutan TDP (o LDP). En cada LSRs, cada FEC (Forwarding Equivalence Class), en este caso cada entrada de la tabla de rutas, se le asigna una etiqueta MPLS y estas etiquetas se registran en la tabla LIB. **Estas etiquetas pueden variar cada vez que inicializamos el router.**

TDP (o LDP) automáticamente distribuyen las etiquetas locales a sus vecinos para ser utilizadas cuando mandan tráfico a un destino específico a través del LSR que anuncia las etiquetas. Una vez las etiquetas se han distribuido, la conmutación se realiza utilizando la Label Forwarding Information Base (LFIB) que almacena la etiqueta asignada por el LSR vecino, la interfaz por donde enviar la trama MPLS y la acción a realizar con la etiqueta añadida (ponerlas o quitarlas).

Para visualizar los datos de la LIB se utiliza el comando “**show mpls ldp bindings**”. Las asociaciones de etiquetas con los destinos de la tabla de rutas tiene significado local al router, es decir, las etiquetas asignadas por un LSR no tienen nada que ver con las asignadas por otro LSR al mismo destino. La tabla LIB también es conocida en los routers de Cisco Systems (debido a su protocolo antecesor como comentamos en la introducción) como TIB (Tag Switching Information Base).

```
R1#show mpls ldp bindings  
tib entry: 172.16.1.0/24, rev 6  
  local binding: tag: imp-null  
tib entry: 172.16.1.1/32, rev 11  
  remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: 16  
tib entry: 172.16.2.0/24, rev 12  
  remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: imp-null  
tib entry: 172.16.2.1/32, rev 10  
  local binding: tag: 18
```

Práctica de MPLS

```
tib entry: 172.16.3.1/32, rev 8
    local binding: tag: 17
    remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: 17
tib entry: 172.16.12.0/24, rev 4
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: imp-null
tib entry: 172.16.23.0/24, rev 2
    local binding: tag: 16
    remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: imp-null

R2#show mpls ldp bindings
tib entry: 172.16.1.0/24, rev 11
    remote binding: tsr: 172.16.1.1:0, tag: imp-null
tib entry: 172.16.1.1/32, rev 6
    local binding: tag: 16
    remote binding: tsr: 172.16.3.1:0, tag: 17
tib entry: 172.16.2.0/24, rev 10
    local binding: tag: imp-null
tib entry: 172.16.2.1/32, rev 12
    remote binding: tsr: 172.16.1.1:0, tag: 18
    remote binding: tsr: 172.16.3.1:0, tag: 18
tib entry: 172.16.3.0/24, rev 13
    remote binding: tsr: 172.16.3.1:0, tag: imp-null
tib entry: 172.16.3.1/32, rev 8
    local binding: tag: 17
    remote binding: tsr: 172.16.1.1:0, tag: 17
tib entry: 172.16.12.0/24, rev 4
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 172.16.1.1:0, tag: imp-null
    remote binding: tsr: 172.16.3.1:0, tag: 16
tib entry: 172.16.23.0/24, rev 2
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 172.16.1.1:0, tag: 16
    remote binding: tsr: 172.16.3.1:0, tag: imp-null

R3#show mpls ldp bindings
tib entry: 172.16.1.1/32, rev 6
    local binding: tag: 17
    remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: 16
tib entry: 172.16.2.0/24, rev 12
    remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: imp-null
tib entry: 172.16.2.1/32, rev 10
    local binding: tag: 18
tib entry: 172.16.3.0/24, rev 8
    local binding: tag: imp-null
tib entry: 172.16.3.1/32, rev 11
    remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: 17
tib entry: 172.16.12.0/24, rev 4
    local binding: tag: 16
    remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: imp-null
tib entry: 172.16.23.0/24, rev 2
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 172.16.2.1:0, tag: imp-null
```

Destacar que cuando la etiqueta o tag es “implicit-NULL” (“imp-null” en la salida del comando **show mpls ldp bindings**) indica explícitamente que el paquete será reenviado con prefijo de red (IP) y no con etiqueta MPLS. Esta situación normalmente ocurre en las redes directamente conectadas. Además, el modo de entrega de las tramas MPLS en Cisco Systems sigue el funcionamiento **PHP (Penultimate Hop Popping)**, que consiste en cuando el

Práctica de MPLS

siguiente LSR ya tiene el destino directamente conectado, la entrega la realizan directamente sin etiqueta, es decir, directamente el paquete IP. Esto se realiza para evitar una consulta innecesaria en la tabla LIB en el LSR destino, cuando ya sabemos que el destino está conectado directamente a dicho LSR.

Por ejemplo, asumimos que todos los routers han realizado adyacencia con LDP. La ejecución de MPLS implica:

- 1) R2 asocia etiquetas localmente, por ejemplo la 17, para el prefijo 172.16.3.0/24 de su tabla de rutas
- 2) R2 anuncia por LDP (oTDP) la asociación local a su vecino R1.
- 3) R1 introduce la asociación de R2 para la red 172.16.3.0/24, clasificándola como asignación remota en su LIB, independientemente de si la utiliza para alcanzar dicha red. La asignación remota para dicha red a través de R2 es la etiqueta 17.
- 4) Basándose en la tabla de rutas, R2 utilizará R3 como siguiente salto para la red 172.16.3.0/24. R2 no reenviará los paquetes IP en MPLS porque R3 ha anunciado la red con la etiqueta *implicit-NUL* a R2. Este modo de operar se llama PHP.

Destacar que LDP (o TDP) asigna etiquetas a todos las entradas de la tabla de rutas, independientemente del protocolo de routing que la genere y las advierte a todos los vecinos.

¿Por qué para un mismo destino tiene varias etiquetas? ¿Con qué vecinos intercambia etiquetas?

De la misma forma, la tabla LFIB se puede consultar con:

```
R1#show mpls forwarding-table
Local Outgoing Prefix Bytes tag Outgoing Next Hop
tag tag or VC or Tunnel Id switched interface
18 Untagged 172.16.2.1/32 0 Et0/0 172.16.12.2
17 17 172.16.3.1/32 0 Et0/0 172.16.12.2
16 Pop tag 172.16.23.0/24 0 Et0/0 172.16.12.2
```

```
R2#sh mpls forwarding-table
Local Outgoing Prefix Bytes tag Outgoing Next Hop
tag tag or VC or Tunnel Id switched interface
17 Untagged 172.16.3.1/32 384 Se0/0 point2point
```

Práctica de MPLS

```
16      Untagged    172.16.1.1/32      0          Et0/0      172.16.12.1
```

```
R3#show mpls forwarding-table
```

Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes switched	Outgoing interface	Next Hop
18	Untagged	172.16.2.1/32	0	Se0/0	point2point
16	Pop tag	172.16.12.0/24	0	Se0/0	point2point
17	16	172.16.1.1/32	0	Se0/0	point2point

Con la información obtenida anteriormente, podríamos diseñar la LFIB en cada uno de los routers tal como se detalla en la figura 2.

En R1

Network	LSR	Label

En R2

Network	LSR	Label

En R3

Network	LSR	Label

A la vista de los resultados mostrados en las tablas LIB y LFIB, si realizamos un ping desde R1 con origen en 172.16.1.1 y destino a 172.16.3.1 ¿qué etiquetas se utilizan?

¿Qué significado tiene la entrada “local binding”?

¿Qué significado tiene la entrada “remote binding”?

En el router R2, ¿por qué hay más de una asociación remota para cada red?

¿Qué significa la etiqueta “implicit NULL”?

Si volviéramos a ejecutar el comando **traceroute** utilizado anteriormente tanto desde R1 y R3 a 172.16.3.1 y 172.16.1.1 respectivamente, la salida podemos ver que difiere respecto a la salida obtenida previamente. Ahora se incluye la información de las etiquetas para cada salto. Desafortunadamente porque la red es pequeña y además se utiliza PHP sólo se puede ver una etiqueta en cada trayecto.

```
R1#traceroute 172.16.3.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.16.3.1

 1 172.16.12.2 [MPLS: Label 17 Exp 0] 4 msec 4 msec 4 msec
 2 172.16.23.3 16 msec * 17 msec

R2#traceroute 172.16.1.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.16.3.1

 1 172.16.23.2 [MPLS: Label 16 Exp 0] 28 msec 28 msec 28 msec
 2 172.16.12.1 20 msec * 17 msec
```

¿Qué diferencias observas y por qué?

Paso 7: Migrando de TDP a LDP

Como hemos comentado, la IOS utilizada en estas prácticas por defecto ejecuta TDP, versión precursora del LDP. Pero TDP es un subconjunto de LDP. Vamos a modificar la configuración de MPLS en los routers para utilizar LDP en lugar de TDP.

En el router R2 añade en modo global:

```
R2 (config)# mpls label protocol ldp
```

Este comando también se podría introducir a nivel de interfaz para asegurar la compatibilidad.

Utilizando los comandos anteriores, intenta averiguar que ha pasado. Utiliza el ping, el traceroute y los comandos `show` vistos anteriormente. ¿Podrías describir qué ha pasado?

.....
.....

¿Cómo podríamos solucionar el problema?

.....
.....

Paso 8: Modifica el tamaño de MTU para MPLS

Una de las características de MPLS es que permite anidar etiquetas MPLS en función de la aplicación y por tanto puede aumentar el número de cabeceras y para ello hay que informar a las interfaces físicas de dichas eventualidades para evitar el descarte de tramas que superen la MTU. La cabecera MPLS tiene 4 bytes. La MTU por defecto siempre se toma de la propia interfaz, que en el caso de una Ethernet es 1500 bytes. Para comprobarlo, utilizamos el comando “`show mpls interfaces interface-type interface-number detail`” en las interfaces que une los routers R1 y R2.

```
R1#show mpls int eth0/0 detail
Interface Ethernet0/0:
    IP labeling enabled (ldp)
    LSP Tunnel labeling not enabled
    BGP tagging not enabled
    Tagging operational
    Fast Switching Vectors:
        IP to MPLS Fast Switching Vector
```

Práctica de MPLS

```
MPLS Turbo Vector  
MTU = 1500
```

```
R2#show mpls int eth0/0 detail  
Interface Ethernet0/0:  
    IP labeling enabled (ldp)  
    LSP Tunnel labeling not enabled  
    BGP tagging not enabled  
    Tagging operational  
    Fast Switching Vectors:  
        IP to MPLS Fast Switching Vector  
        MPLS Turbo Vector  
    MTU = 1500
```

En esta práctica modificaremos la MTU de la conexión de Ethernet entre R1 y R2 para soportar hasta 2 cabeceras de MPLS, de forma que la nueva MTU será 1508 bytes en la interfaz Fast Ethernet. Para modificar la MTU para MPLS utiliza el comando “**mpls mtu**” en la propia interfaz. Verifica el cambio utilizando el comando “**show mpls interfaces interface detail**”.

```
R1(config)# interface fastethernet 0/0  
R1(config-if)# mpls mtu 1508  
  
R2(config)# interface fastethernet0/0  
R2(config-if)# mpls mtu 1508  
  
R1# show mpls interface fastethernet 0/0 detail  
Interface FastEthernet0/0:  
    IP labeling enabled (ldp):  
        Interface config  
    LSP Tunnel labeling not enabled  
    BGP tagging not enabled  
    Tagging operational  
    Fast Switching Vectors:  
        IP to MPLS Fast Switching Vector  
        MPLS Turbo Vector  
    MTU = 1508  
  
R2# show mpls interface fastethernet 0/0 detail  
Interface FastEthernet0/0:  
    IP labeling enabled (ldp):  
        Interface config  
    LSP Tunnel labeling not enabled  
    BGP tagging not enabled  
    Tagging operational  
    Fast Switching Vectors:  
        IP to MPLS Fast Switching Vector  
        MPLS Turbo Vector  
    MTU = 1508
```

Paso 9: Análisis de tramas MPLS

Una vez tenemos la maqueta trabajando en MPLS vamos a comprobar el funcionamiento y la formación de las tramas conectando un analizador de protocolos (por ejemplo el *Wireshark en Linux*) en la LAN que conecta a los routers R1 y R2.

Práctica de MPLS

Prepara el analizador de protocolos para capturar todo el tráfico de capa 2 y realiza pings desde R1 a 172.16.3.1.

¿Qué paquete sale encapsulado en MPLS? ¿el ICMP Echo Request o el ICMP Echo Reply? ¿Por qué?
