

PRÀCTICA: Configuració de MPLS en modo trama

Autor: Santiago Felici
15/07/2009

Objectiu

L'objectiu de la present pràctica és familiaritzar-se amb la tecnologia i els conceptes de MPLS (Multiprotocol Label Switching), així com la seua configuració en una maqueta amb routers de Cisco Systems.

Per a això, es realitzaran les següents activitats:

- Configurar routing IP amb OSPF en els routers
- Configurar en els routers protocols de distribució d'etiquetes (TDP i LDP)
- Adaptar el tamany de Maximum Transmission Unit (MTU) per a ser compatible amb els requisits de funcionament de MPLS
- Verificar el comportament de MPLS en la xarxa, així com la comprovació de les variables (taules) utilitzades per MPLS en el seu funcionament

Encara que els equips utilitzat són d'un fabricant en particular, els conceptes introduïts en la present pràctica tenen caràcter general.

Materials necessaris

Per a la realització d'aquesta pràctica és necessari disposar de:

- *Tres cables ethernet normals i un cable sèrie DTE-DCE*
- *Tres routers Cisco Systems de la sèrie 2600 equipats mínim amb 16 MB de Flash i 48 MB de RAM, amb una interfície sèrie i una altra Ethernet, amb la IOS Versió 12.3(26) Telco Feature Set- General Deployment¹*
- *Un hub*
- *Tres ordinadors de consola per a cadascun dels routers, un d'ells equipat amb un analitzador de protocols*

Prerrequisits

Prèvia a la realització d'aquesta pràctica és necessari:

- Tener un coneixement bàsic de configuració dels routers de Cisco Systems, així com els comandaments del seu sistema operatiu IOS, per a la qual cosa us remetem a les pràctiques realitzades prèviament en aquesta o altres assignatures
- Tenir un coneixement teòric de MPLS
- Haver llegit completament aquesta pràctica abans de començar

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

Introducció

La tecnologia MPLS (Multiprotocol Label Switching) també és coneguda com tecnologia de la capa 2.5, perquè realitza un encapsulat intermedi entre la capa de enllaç (capa 2) i la capa de xarxa (capa 3). En aquest encapsulat s'introdueix una etiqueta de 4 bytes, que permet als routers utilitzar tècniques de commutació. L'utilitzar l'etiquetat per davall de capa 3, permet que MPLS pugui funcionar independentment del protocol de capa 3 utilitzat, d'ací allò de "multiprotocol". Aquesta arquitectura d'etiquetat és flexible i permet aniuar etiquetes, és a dir, introduir una trama MPLS dins d'altra.

L'objectiu de MPLS és separar la part d'encaminament de la part de commutació en el reenviament dels paquets, de forma que mentre la part d'encaminament és complexa i lenta (temps de convergència, càlcul de rutes), es realitza independentment de la part de commutació, que és ràpida i simple.

De forma muy simplificada, es podria dir que els routers inicialment calculen totes les rutes (usant protocols de routing IP) a les destinacions i després intercanviant etiquetes estableixen els circuits virtuals entre qualsevol origen i qualsevol destinació per començar a commutar. Les etiquetes introduïdes als paquets quan entren en la xarxa MPLS estan associades al circuit virtual que seguirà el paquet en la xarxa cap a una destinació determinada i aquestes etiquetes s'introdueixen en el paquet, abans de la capçalera de capa 3. Les etiquetes que s'afegeixen sols tenen significat local al node MPLS (el router) i van canviant bot a bot. Així d'aquesta manera, el paquet entra en la xarxa (a través dels routers MPLS llindars) i se li afegeix una etiqueta segons el circuit virtual per a la seua destinació, el paquet és commutat dins de la xarxa (a través dels routers MPLS interns) canviant en cada bot l'etiqueta i finalment surt de la xarxa MPLS (a través dels routers MPLS llindars) pròxim a la destinació, llevant-li l'etiqueta.

Les principals aplicacions de MPLS són funcions d'enginyeria de trànsit (als fluxes de cada usuari se'ls associa una etiqueta diferent), routing basats en polítiques (Policy Routing), serveis de VPN, serveis que requereixen QoS, etc i segons l'aplicació, es necessitaran més o menys etiquetes, des de 1 fins 3 ó 4.

En el cas particular del fabricant Cisco Systems, la implementació de la tecnologia MPLS té un precursor que és el Tag Switching i ocasionalment apareixen literalment aquestes paraules en les sortides d'algun comandament. En anglés "tagi y "label" són sinónimos.

Actualment Cisco implementa MPLS basant-se en la tecnologia CEF (Cisco Express Forwarding) que és un nou esquema de enrutament utilitzant suport hardware per a una commutació ràpida. La idea de CEF és que la taula de rutes en cada router permeti assignar les interfícies de sortida per a cada paquet sense haver de consultar la taula de rutes tradicional, de forma que s'estalvia temps. Es pot dir que el procés d'enrutament es fa utilitzant hardware específic, evitant la consulta lenta en les taules de rutas tradicionales. En les versions de IOS

utilitzades en el laboratori i en general que suporten MPLS en Cisco Systems, aquest modo està habilitat per defecte.

La terminologia més important i necessària per a aquesta pràctica de MPLS és:

- 1 **FEC (Forwarding Equivalence Class):** conjunt de paquets que entren en la xarxa MPLS per la mateixa interfície, que reben la mateixa etiqueta i per tant circulen per un mateix trayecte. Normalment es tracta de paquets que pertanyen a un mateix fluxe.
- 2 **LSP (Label Switched Path):** camí que segueixen els paquets que pertanyen a la mateixa FEC, és equivalent a un circuit virtual.
- 3 **LSR (Label Switching Router) :** router que pot encaminar paquets en funció del valor de l'etiqueta MPLS
- 4 **LIB (Label Information Base) o TIB (Tag Information Base):** la taula d'etiquetas que utilitzen els LSR. Relacionen la parella (interfície d'entrada - etiqueta d'entrada) amb (interfície de sortida - etiqueta de sortida). En versions d'IOS antigues, en lloc de Label s'utilitzava Tag i d'ací, que hi ha alguns comandaments que utilitzen "tag" en lloc de "label".
- 5 **LDP o TDP (Label o Tag Distribution Protocol):** protocol utilitzat per a distribució d'etiquetas MPLS. LDP és la versió estandaritzada i integrada en les IOS amb versions 12.4(3) o superior i TDP és una versió precursora propietària definida per Cisco Systems que ha sigut canviada per LDP. Podríem dir que TDP està inclòs en LDP.
- 6 **FIB (Forwarding Information Base):** en poques paraules és la taula de rutes del router, però amb suport hardware, basat en CEF. Aquesta taula s'actualitza automàticament a petició dels protocols de routing.
- 7 **LFIB (Label Forwarding Information Base):** és la taula que associa les etiquetes amb les destinacions o rutes de capa 3 i la interfície de sortida en el router, indicant-li al router el que ha de fer, ficar o llevar etiqueta.
- 8 **LIB (Label Information Base):** és la taula que conté sols informació d'etiquetas MPLS i és utilitzada per LDP (o TDP) per a la gestió i enviament de les etiquetas.
- 9 **PHP (Penultimate Hop Popping):** és una alternativa d'entrega de trama MPLS al final del circuit virtual, per millorar les prestacions i el consum de CPU. Consisteix en llevar l'etiqueta MPLS quan se sap que el següent router no necessita l'etiqueta MPLS per estar la xarxa directament connectada a ell o ser el final del circuit virtual. D'aquesta forma, s'evita fer una doble búsqueda en eixe router, tant en la taula de LFIB i en la taula de rutes. És el modo de funcionament per defecte en els routers de Cisco Systems.

La implementació de MPLS en els routers de Cisco Systems es fa utilitzant una arquitectura basada en dos plànols, el plànol de control (per a routing i protocols de gestió de MPLS) i el plànol de dades on es realitza la commutació utilitzant les etiquetas.

Per al funcionament de MPLS, una vegada el router té la taula FIB completa pel protocol de routing, a cada destinació que apareix en eixa taula, li associa una etiqueta i l'anuncia als seus veïns utilitzant LDP (o TDP). Aquesta associació

queda registrada en la taula LIB en el plànol de control. El plànol de dades, que és el que realitza el treball de commutació, el que fa és mantenir las taulas de FIB (per enrutar els paquets de xarxa directament) i la taula LFIB (per commutar les trames MPLS utilitzant les etiquetes i reenviar la trama a la interfície de sortida corresponent).

De forma simplificada en la figura 1 y 2 s'explica el funcionament del MPLS utilitzant les taules LIB, LFIB i FIB.

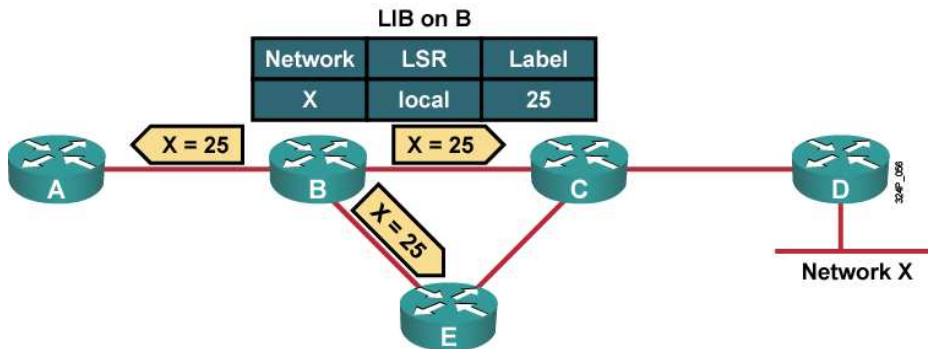


Figura 1: En esta figura s'observa que la xarxa X (network X) és anunciada pel router D i el router B la té en la seua taula de routes. Per a eixa destinació (xarxa X), el router B elegeix una etiqueta, en concret la 25 i envia la seua decisió als routers veïns A, E i C respectivament per LDP. L'associació realitzada queda registrada en la taula LIB del router B. Ara, quan el router A tinga que enviar a la xarxa X, el router A encapsularà el paquet dirigit a X en una trama MPLS amb etiqueta 25, donat que B sap qué fer amb eixa etiqueta.

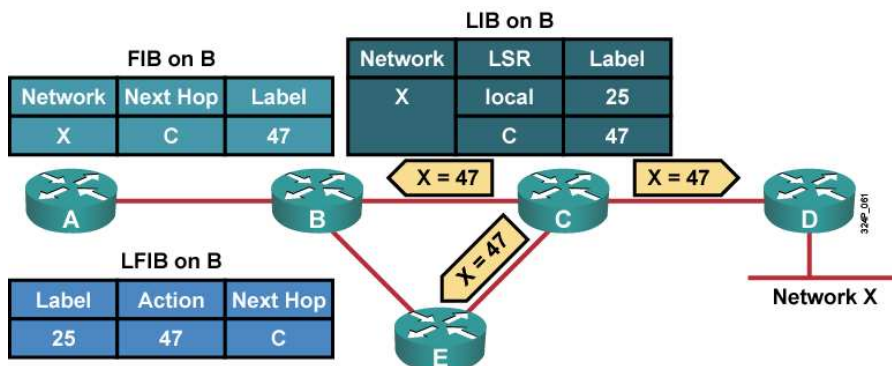


Figura 2: Una vegada tenim les taules inicialitzades, FIB, LIB i LFIB en el router B, quan arribe un paquet del router A amb etiqueta 25, el router B sap que ha de canviar l'etiqueta a 47 consultant la taula LFIB i commutar, és a dir traume-la per la interfície que connecta amb el router C.

Esquema de la xarxa MPLS a implementar

En aquesta maqueta hi ha 3 routers que formen la xarxa MPLS com mostra la figura 3. Per simplificació, s'han introduït les interfícies virtuals de Loopback, per representar les LAN per a les xarxes 172.16.1.0/24, 172.16.2.0/24 i 172.16.3.0/24 en els routers R1, R2 i R3 respectivament. Les connexions entre els routers són: R1-R2 per LAN 172.16.12.0/24 i connexió sèrie R2-R3 amb 172.16.23.0/24.

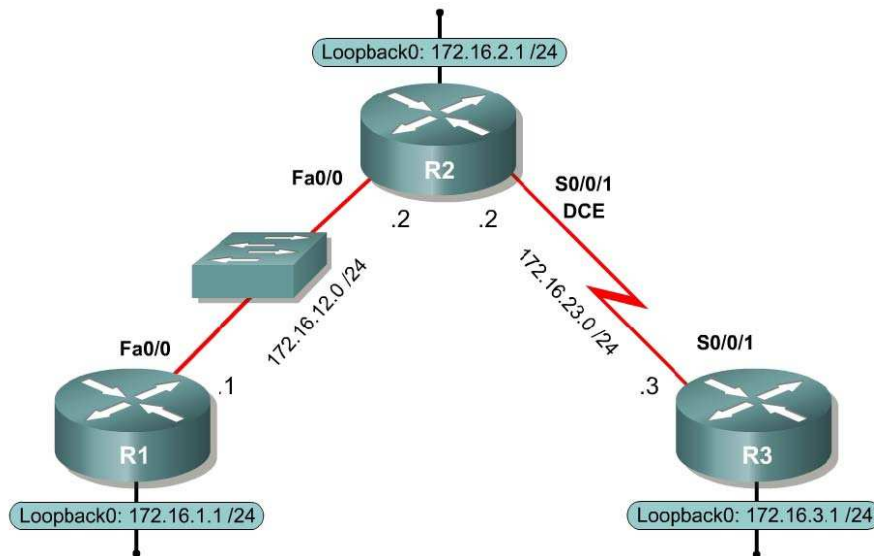


Figura 3: Esquema connexió dels 3 routers amb detall del direccionament IP. Per al desenvolupament de la pràctica, en lloc del switch de la LAN de R1-R2 es connectarà un hub.

Pas 0: Cablejat i inicialització dels routers

Cableja la maqueta tal i com s'indica en la figura 3, però en lloc de connectar un switch entre R1 i R2, anem a connectar un hub. Seguidament connectat per consola als diferents equips, borra la seua configuració si és necessari (amb els comandaments "*erase startup configuration*" i "*reload*") i estableix el nom assignat en les maquetes a cada router utilitzant els següents comandaments. Aquest exemple seria per al cas 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
```

Nota 1: El comandament R1(config)#no ip domain-lookup evita la consulta al

DNS en cas d'equivocar un comandament, donat que aquest error s'interpretarà com un nom a resoldre pel DNS al qual establir connexió telnet.

Comprova els noms utilitzats pel sistema operatiu per a cadascuna de les interfícies físiques dels routers amb el següent comandament. El nom de les interfícies pot variar segons equips i segons el sistema operatiu utilitzat.

#show ip interface brief

Router	Interfície	
R1	Ethernet 0/0	Serial 0/0
R2	Ethernet 0/0	Serial 0/0
R3	Ethernet 0/0	Serial 0/0

Pas 1: Configuració de l'adreçament IP

Configura les interfícies de tots els routers amb les adreces de la figura 3, tant les interfícies físiques (Ethernet i sèrie) com les de *Loopback*. Utilitza en cada cas el nom assignat a cada interfície tal i com vegeges en el pas anterior. En les interfícies sèrie a més afegeix el comandament "*clock rate*" i habilita-les amb el comandament "**no shutdown**".

Aquesta és la configuració necessària per a R1, R2 i R3 respectivament:

```
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
```

Pas 2: Configura OSPF en tots els routers

Configura OSPF en els 3 routers de la maqueta en el àrea 0. Per a això configura la classe major de les diferents subxarxes utilitzades, donat que els routers anunciaran tan sols les subxarxes que tenen directament connectades.

```
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
```

Amb això podrem observar que s'estableixen les adjacències i s'anuncien les xarxes.

¿Podria funcionar MPLS si no hi hagués connectivitat IP?

.....

.....

Pas 3: Comprovació de la connectivitat IP i del funcionament de CEF (Cisco Express Forwarding)

Utilitzant el comandament “*show ip route*” podrem observar totes les xarxes anunciades. Comprova les taules de routing en cada router. Cal destacar que les rutes directament connectades utilitzen el codi C i les de OSPF de O. Les interfícies de Loopback sempre s'anuncien amb /32. La informació entre corxets és *[distància administrativa, mètrica]*, que en el cas de OSPF és 110 la distància administrativa i la mètrica es calcula com la suma dels costos dels enllaços fins a la destinació. El cost dels enllaços és inversament proporcional a la seua velocitat. Cada ruta a més té associada el següent bot, la antiguitat i la interfície de sortida.

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
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
```

Feix ping extés a totes les interfícies i comprova la connectivitat IP. Comprova que hi ha connectivitat IP a totes les interfícies. Fes ús del **ping extés** per modificar la IP origen dels paquets IP del ping. El ping extés es realitza teclejant “ping” sense especificar destinació. Amb açò el router ens preguntarà tota la informació per el·laborar el paquet. Si no funcionara el ping, soluciona el problema analitzant les connexions i les configuracions realitzades en cadascun dels routers.

¿Existeix alguna interfície que no contesta al ping?

.....

En el router R1 y R3, si executares el comandament “**traceroute**” a la interfície de Loopback de R3 i R1 respectivament, podries observar el camí realitzat pel paquet.

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

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

¿Quina és la funció de CEF?

.....

.....

Podem veure que CEF està activat per defecte amb el següent comandament “**show ip cef**” .

```
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          Loopback0
```


Pràctica de MPLS

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	Ethernet0/0
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	

Realment CEF permet associar una etiqueta, en el cas de IP l'etiqueta és una adreça IP, amb una interfície de sortida i amb informació de capa 2 del següent bot per al reenviament. D'ací que Cisco Systems utilitzi aquesta taula FIB per a la implementació de MPLS quan l'etiqueta que s'utilitza és l'etiqueta de MPLS. Si CEF no estigués habilitat, s'habilita amb el comandament "**ip cef**".

Pas 4: Habilita MPLS en totes les interfícies físiques

Per habilitar MPLS en els routers, cal indicar quines interfícies del router van a participar en aquest protocol. Per a això anirem configurant en eixes interfícies del router el comandament "**mpls ip**" de forma que indiquem al router que commute en entrada i sortida les trames MPLS que reba o envie, així com que detecte veïnatges de routers MPLS amb el protocol de distribució d'etiquetes. Com la versió d'IOS utilitzada és menor que la 12.4(3), aquest protocol és el TDP per defecte en Cisco Systems. Més tard canviarem a LDP. A efectes pràctics, no hi ha diferència entre un i altre protocol, a no ser que es busque compatibilitat amb un altre fabricant que no és el cas.

Configura MPLS en totes les interfícies físiques (no en les interfícies virtuals o de loopback) de els routers de la figura 3.

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

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

² TDP (Tag Distribution Protocol) és una herència de la versió precursora del LDP (Label Distribution Protocol).

Has de adonar-te que quan configures MPLS en els dos extrems d'una connexió, apareixen missatges del sistema operatiu en ambdós routers indicant que TDP ha creat un nou veïnatge.

Pas 5: Verifica la configuració de MPLS

Per comprovar el funcionament de MPLS anem a utilitzar els comandaments “**show**” disponibles per a MPLS. Per a veure de quins comandaments disposem utilitzem el comandament “?”

```
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 lloc per veure ràpidament les interfícies treballant amb MPLS executarem “**show mpls interfaces**” i saber quin protocol d'intercanvi d'etiquetes usen.

```
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
```

Altres comandaments disponibles són:

- 1 **show mpls ldp discovery** per observar informació de TDP (o LDP), com l'identificatiu del router MPLS i els veïns.
- 2 **show mpls ldp neighbor** per a detecció de les adjacències de TDP (o LDP) i l'estat de les connexions establides.

Cal destacar que en cada router MPLS s'utilitza com a identificador per parlar amb els seus veïns, la IP més alta de les seues pròpies interfícies de loopback i si no disposa d'interfícies de loopback, de qualsevol interfície física, igualment que passa amb altres protocols com OSPF, BGP etc

```
R1#show mpls ldp discovery
Local LDP Identifier:
 172.16.1.1:0
Discovery Sources:
Interfaces:
```

Pràctica de MPLS

```
Ethernet0/0 (tdp): xmit/rcv  
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/rcv  
TDP Id: 172.16.1.1:0  
Serial0/0 (tdp): xmit/rcv  
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:  
Interfaces:  
Serial0/0 (tdp): xmit/rcv  
TDP Id: 172.16.2.1:0
```

R3#show 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
```

¿Quin protocol de transport s'utilitza LDP (o TCP) per comunicar-se amb els seus veïns?

.....

Pas 6: Estudi de les taules LIB i LFIB

Amb la configuració introduïda en el pas anterior, els routers actúen com Label Switch Routers (LSRs) i executen TDP (o LDP). En cada LSRs, cada FEC (Forwarding Equivalence Class), en aquest cas cada entrada de la taula de rutes, se li assigna una etiqueta MPLS i aquestes etiquetes es registren en la taula LIB. **Aquestes etiquetes poden variar cada vegada que inicialitzem el router.**

TDP (o LDP) automàticament distribuïxen les etiquetes locals als seus veïns per a ser utilitzades quan envien trànsit a una destinació específica a través del LSR que anuncia les etiquetes. Una vegada les etiquetes s'han distribuït, la commutació es realitza utilitzant la Label Forwarding Information Base (LFIB) que emmagatzema l'etiqueta assignada pel LSR veí, la interfície per on enviar la trama MPLS i l'acció a realitzar amb l'etiqueta afegida (ficar-les o llevar-les).

Per visualitzar les dades de la LIB s'utilitza el comandament **"show mpls ldp bindings"**. Les associacions d'etiquetes amb les destinacions de la taula de rutes tenen significat local al router, és a dir, les etiquetes assignades per un LSR no tenen res a veure amb les assignades per un altre LSR a la mateixa destinació. La taula LIB també és coneguda en els routers de Cisco Systems (degut al seu protocol antecessor com comentàrem en la introducció) com 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
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
```

Cal destacar que quan l'etiqueta o tag és "implicit-NULL" ("imp-null" en la sortida del comandament **show mpls ldp bindings**) indica explícitament que el paquet serà reenviat amb el prefixe de xarxa (IP) i no amb etiqueta MPLS. Aquesta situació normalment ocorre en les xarxes directament connectades. A més, el modo d'entrega de les trames MPLS en Cisco Systems segueix el funcionament **PHP (Penultimate Hop Popping)**, que consisteix en quan el següent LSR ja té la destinació directament connectada, l'entrega la realitzen directament sense etiqueta, és a dir, directament el paquet IP. Açò es realitza per evitar una consulta innecessària en la taula LIB en el LSR destinació, quan ja sabem que la destinació està connectat directament a eixe LSR.

Per exemple, assumim que tots els routers han realitzat adjacència amb LDP. L'execució de MPLS implica:

- 1) R2 associa etiquetes localment, per exemple la 17, per al prefixe 172.16.3.0/24 de la seua taula de rutes

- 2) R2 anuncia per LDP (o TDP) l'associació local al seu veí R1.
- 3) R1 introdueix l'associació de R2 per a la xarxa 172.16.3.0/24, classificant-la com assignació remota en el seu LIB, independentment de si la utilitza per assolir eixa xarxa. L'assignació remota per a eixa xarxa a través de R2 és l'etiqueta 17.
- 4) Basant-se en la taula de rutes, R2 utilitzarà R3 com a següent bot per a la xarxa 172.16.3.0/24. R2 no reenviarà els paquets IP en MPLS perquè R3 ha anunciat la xarxa amb l'etiqueta *implicit-NULL* a R2. Aquest modo d'operar s'anomena PHP.

Destacar que LDP (o TDP) assigna etiquetes a totes les entrades de la taula de rutes, independentment del protocol de routing que la genere i les adverteix a tots els veïns.

¿Per què per a una mateixa destinació té diverses etiquetes? ¿Amb quins veïns intercanvia etiquetes?

.....

.....

De la mateixa forma, la taula LFIB es pot consultar amb:

R1#show mpls forwarding-table

Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
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 tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
17	Untagged	172.16.3.1/32	384	Se0/0	point2point
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 tag 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

Amb la informació obtinguda anteriorment, podríem dissenyar la LFIB en cadascun dels routers tal i com es detalla en la figura 2.

En R1

Network	LSR	Label

En R2

Network	LSR	Label

En R3

Network	LSR	Label

A la vista dels resultats mostrats en les taules LIB i LFIB, si realitzem un ping des de R1 amb origen en 172.16.1.1 i destinació a 172.16.3.1 ¿quines etiquetes s'utilitzen?

.....

.....

¿Quin significat té l'entrada "local binding"?

.....

.....

¿Quin significat té l'entrada "remote binding"?

.....

.....

En el router R2, ¿per què hi ha més d'una associació remota per a cada xarxa?

.....
.....

¿Què significa l'etiqueta "implicit NULL"?

.....
.....

Si tornarem a executar el comandament **traceroute** utilitzat anteriorment tant des de R1 i R3 a 172.16.3.1 i 172.16.1.1 respectivament, la sortida podem veure que difereix respecte a la sortida obtinguda prèviament. Ara s'inclou la informació de les etiquetes per a cada bot. Desafortunadament perquè la xarxa és petita i a més s'utilitza PHP sols es pot veure una etiqueta en cada trajecte.

```
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
```

¿Quines diferències observes i per què?

.....
.....

Pas 7: Migrant de TDP a LDP

Com hem comentat, la IOS utilitzada en aquestes pràctiques per defecte executa TDP, versió precursora del LDP. Però TDP és un subconjunt de LDP. Anem a modificar la configuració de MPLS en els routers per utilitzar LDP en lloc de TDP.

En el router R2 afegeix en modo global:

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


Aquest comandament també es podria introduir a nivell d'interfície per assegurar la compatibilitat.

Utilitzant els comandaments anteriors, intenta averiguar que ha passat. Utilitza el ping, el traceroute i els comandaments *show* vistos anteriorment. ¿Podries descriure què ha passat?

.....
.....

¿Com podríem solucionar el problema?

.....
.....

Pas 8: Modifica el tamany de MTU per a MPLS

Una de les característiques de MPLS és que permet aniuar etiquetes MPLS en funció de l'aplicació i per tant pot augmentar el número de capçaleres i per a això cal informar a les interfícies físiques de aquestes eventualitats per evitar el descartament de trames que superen la MTU. La capçalera MPLS té 4 bytes. La MTU per defecte sempre es pren de la pròpia interfície, que en el cas d'una Ethernet és 1500 bytes. Per comprovar-lo, utilitzem el comandament "**show mpls interfaces interface-type interface-number detail**" en les interfícies que uneix els routers R1 i 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
    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 aquesta pràctica modificarem la MTU de la connexió de Ethernet entre R1 i R2 per suportar fins a 2 capçaleres de MPLS, de forma que la nova MTU serà 1508 bytes en la interfície Fast Ethernet. Per modificar la MTU per a MPLS utilitza el comandament “**mpls mtu**” en la pròpia interfície. Verifica el canvi utilitzant el comandament “**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
```

Pas 9: Anàlisi de trames MPLS

Una vegada tenim la maqueta treballant en MPLS anem a comprovar el funcionament i la formació de les trames connectant un analitzador de protocols (per exemple el *Wireshark en Linux*) en la LAN que connecta als routers R1 i R2.

Prepara l'analitzador de protocols per capturar tot el trànsit de capa 2 i realitza pings des de R1 a 172.16.3.1.

¿Quin paquet surt encapsulat en MPLS? ¿el ICMP Echo Request o el ICMP Echo Reply? ¿ Per què?

.....

