Lab. 3 – MultiProtocol Label Switching (MPLS)

3.1 Objetivos de la practica

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

3.2 Introducción a MPLS

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 (plano de control) de la parte de conmutación (plano de forwarding) 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 (llamado Label Switched Path, LSP) 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 LSP que seguirá el paquete en la red hacia un destino determinado y estas etiquetas se introducen en el paquete (*label push*), 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 (*label swap*). 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 LSP 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 (*label pop*).

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.

3.2.1 Terminología MPLS

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

- **Forwarding Equivalence Class** (FEC): 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.
- **Label Switched Path** (LSP): camino que siguen los paquetes que pertenecen a la misma FEC, es equivalente a un circuito virtual.
- **Label Switching Router** (LSR): router que puede encaminar paquetes en función del valor de la etiqueta MPLS
- **Label Distribution Protocol** (LDP): protocolo utilizado para distribución de etiquetas MPLS.
- **Label Information Base** (LIB): la tabla de etiquetas que manejan los LSR. Relaciona la pareja (interfaz de entrada - etiqueta de entrada) con (interfaz de salida - etiqueta de salida).
- **Forwarding Information Base** (FIB): 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.
- **Label Forwarding Information Base** (LFIB): 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.
- **Penultimate Hop Popping** (PHP): 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.

3.2.2 Ejemplo de funcionamiento

En MPLS, el protocolo LDP está encargado de distribuir las etiquetas juntamente a los prefijos para que los routers construyen las tablas LIB and LFIB. En la Figura 10 se ilustra un ejemplo. Si se aplicara PHP, el router R2 podría hacer directamente label pop (es decir eliminar la etiqueta MPLS) ya que el prefijo destino se encuentra conectado directamente al siguiente router R1. Por defecto, CISCO aplica PHP.

Cabe destacar que MPLS necesita conectividad IP entre todos los routers para funcionar, es decir se necesita un protocolo de encaminamiento (por ejemplo OSPF) para que los routers conozcan todos los prefijos.

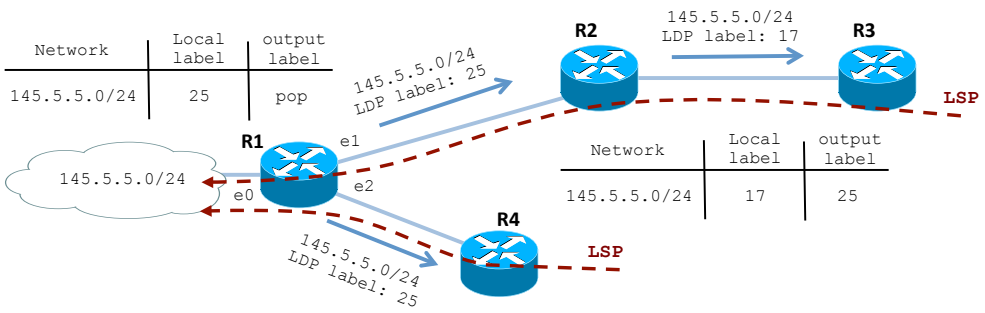

Figura 10: Ejemplo de distribución de etiquetas en MPLS.

3.2.3 Configuración de MPLS

Para activar el forwarding MPLS, en CISCO se necesita usar el mecanismo Cisco Express Forwarding (CEF). CEF es el método usado por CISCO para crear las FIB y, por consiguiente, las LFIB para MPLS. Se activa con el comando **ip cef** en configuración global.

Se necesita luego activar el protocolo LDP en los routers para el intercambio de etiquetas. Hay que destacar que en CISCO se pueden usar dos protocolos distintos, LDP y TDP (Tag Distributel Protocol). TDP es el protocolo propietario CISCO anterior a MPLS. El comando es **mpls label protocol ldp**.

Finalmente, hay que activar MPLS en cada interfaz con el comando **mpls ip**.

Ejemplo para el caso de R1 en la Figura 10.

```
R1(config)# ip cef
R1(config)# mpls label protocol ldp
R1(config)# interface e1
R1(config-if)# mpls ip
R1(config)# interface e2
R1(config-if)# mpls ip
```

3.2.4 Verificación MPLS

```
R# show ip route                Permite ver la tabla de encaminamiento
R# show ip route @IP            Permite ver el camino hasta la @IP conocido por el router
R# show ip cef                  Permite ver la tabla de forwarding
R# show mpls interfaces         Permite ver que interfaces usan MPLS y su estado
R# show mpls ldp discovery      Permite obtener información de LDP local y de los vecinos
R# show mpls ldp neighbor       Permite ver las adyacencias LDP y conocer su estado
R# show mpls ldp bindings       Permite ver la tabla LIB
R# show mpls forwarding-table   Permite ver la tabla LFIB
```

3.3 MPLS Traffic Engineering (MPLS-TE)

El funcionamiento de MPLS se puede extender con ingenierización de tráfico (Traffic Engineering, TE). En el caso tradicional, el coste asociado a cada interfaz es un valor estático, asignado manualmente o automáticamente según la tecnología usada. Este sistema crea un uso no óptimo de los recursos disponibles. En efecto, todos los datagramas irían siempre y exclusivamente por los caminos de coste mínimo creando posibles zonas de congestión. Por el contrario, TE correlaciona los flujos entre dos routers apropiadamente para permitir el uso eficiente de la red.

Para la distribución del estado real de cada interfaz (y no simplemente su coste inicial), las extensiones TE se han aplicado al protocolo de encaminamiento dinámico OSPF, creando por lo tanto el nuevo protocolo OSPF-TE.

Con la información actualizada sobre el estado de la red distribuida por OSPF-TE, MPLS-TE puede computar caminos LSP optimizando los recursos de la red y capaces de cumplir con determinados requerimientos de los clientes. En este caso se dice que MPLS usa un algoritmo de encaminamiento llamado Constraint Based Routing (CBR), es decir, datas las restricciones de los clientes, CBR calcula el mejor camino LSP posible.

Para crear el LSP, MPLS usa un protocolo de señalización llamado RSVP-TE (Resource Reservation Protocol with Traffic Engineering) que reserva los recursos necesarios entre routers.

Cabe destacar que en el caso de MPLS-TE, se suele llamar Tunnel el LSP creado por RSVP-TE.

3.3.1 Ejemplo de funcionamiento

En el ejemplo de la Figura 11, un cliente de la red 145.5.5.0/24 quiere establecer un camino de 30 Mbps hasta la red 200.0.0.0/24. El router R1 se configura para que establezca un LSP de 30 Mbps hasta R3. Con la información obtenida por OSPF-TE, R1 calcula con CBR el camino que permita esta capacidad hasta R3. R1 ejecuta RSVP-TE para crear este LSP de 30 Mbps y reservar estos recursos en cada router: 1) el mensaje PATH se lanza a lo largo del camino determinado por

CBR hasta R3 y comprueba que realmente hay suficiente recursos; 2) el mensaje RESV de vuelta a R1 reserva estos recursos y actualiza las tablas LIB. Luego, OSPF-TE distribuye el nuevo estado de cada interfaz a todos los routers.

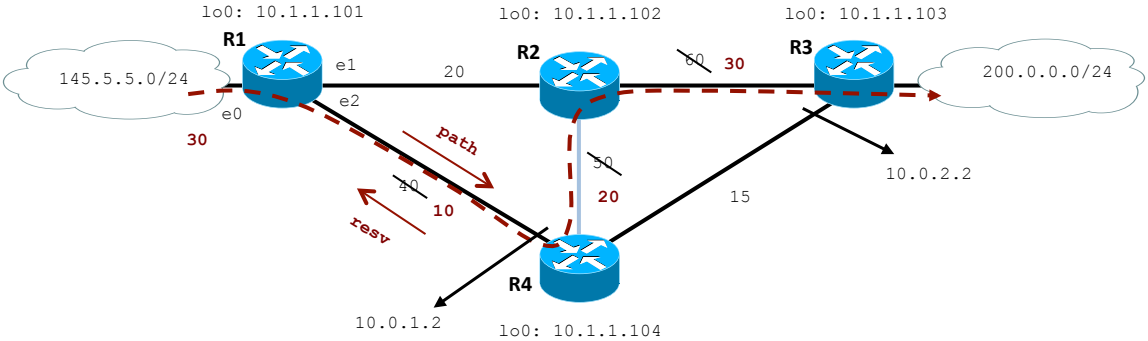

Figura 11: Ejemplo de MPLS-TE.

3.3.2 Activación de las extensiones TE

Se necesita activar las extensiones TE en todos los routers, en las interfaces y en OSPF. En el caso del router R4 de la Figura 11 sería la siguiente.

Comandos para activar MPLS-TE

```
R4(config)# mpls traffic-eng tunnels        -> habilita TE en el router
```

Comandos para activar las extesiones TE en las interfaces

```
R4(config)# interface e1
R4(config-if)# mpls traffic-eng tunnels     -> habilita TE en una interfaz
R4(config)# interface e2
R4(config-if)# mpls traffic-eng tunnels
```

Comandos para activar las extensiones TE en OSPF. En el ejemplo, OSPF está configurado con una única área y se usa como RID la interfaz de loopback0. Notar que es imprescindible que la mascara de la @IP usada como RID sea /32 (255.255.255.255).

```
R4(config)# router ospf 10                  -> se entra en OSPF (definido anteriormente como proc. 10)
R4(config-router)# mpls traffic-eng area 0                -> habilita TE en el área 0
R4(config-router)# mpls traffic-eng router-id loopback0   -> habilita TE a través del RID loopback0
```

En RSVP-TE se pueden fijar dos parámetros para cada interfaz: 1) el máximo ancho de banda reservables para todos los túneles, 2) el máximo ancho de banda reservable para cada túnel. El comando es **ip rsvp bandwidth** *interface-bitrate [single-tunnel-bitrate]*. Los valores de interface-bitrate y single-tunnel-bitrate son en kbps (el segundo valor es opcional y se puede omitir). Por ejemplo, R4 se podría configur de esta manera

```
R4(config)# interface e1
R4(config-if)# ip rsvp bandwidth 4000 1000   -> asigna 4000 kpbs de capacidad total a la interfaz e2
                                                y cada tunnel es de 1000 kbps
R4(config)# interface e2
R4(config-if)# ip rsvp bandwidth 5000        -> asigna 5000 kpbs de capacidad total a la interfaz e2
                                                y cada tunnel puede ser de cualquier capacidad
```

3.3.3 Creación del LSP (tunnel) en MPLS-TE

Para establecer un túnel, se necesitan diferentes pasos. Considerando la Figura 11, se quiere configurar un túnel de 100 kbps con origen R1 y destino R3. Los comandos se detallan a continuación.

```
R1(config)# interface tunnel10                -> se crea el túnel llamado tunnel10
R1(config-if)# ip unnumbered loopback0        -> se asigna la interfaz de loopback0 como ip del tunel
R1(config-if)# tunnel mode mpls traffic-eng   -> habilita el modo MPLS-TE en el túnel
R1(config-if)# tunnel destination 10.1.1.103  -> se crea el túnel hasta la loopback de R3
R1(config-if)# tunnel mpls traffic-eng bandwidth 100       -> bitrate del túnel en kbps
R1(config-if)# tunnel mpls traffic-eng autoroute announce  -> se anuncia el túnel por OSPF
```

Estos comandos crean un túnel tunnel10 de R1 a R3 (10.1.1.103), es decir los túneles son unidireccionales. Si se quisiera establecer un túnel también en el sentido contrario, habría que aplicar los mismos comandos en R3 con destino R1. El nombre del túnel es arbitrario; la única restricción es que no se puede repetir el mismo nombre para dos túneles con una misma origen.

El túnel se puede crear de manera dinámica o explicita. En el caso dinámico, el camino se determina según el conocimiento que tienen los routers (propocionado por OSPF-TE). En el caso explicito, se pueden fijar una directrices a la hora de escoger el camino. El comando es **tunnel mpls traffic-eng path-option** *número* **{dynamic|explicit {name** *nombre-camino*}}. A continuación se ilustra un ejemplo.

```
R1(config-if)# tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name LP1  -> túnel explicito llamado LP1
R1(config-if)# tunnel mpls traffic-eng path-option 2 dynamic            -> túnel dinámico
```

Cabe notar que el parámetro *número* en path-option indica el orden con el que se intenta establecer el túnel. En el ejemplo, antes se probaría con el camino explicito (opción 1) y, si no se pudiera establecer, entonces se probaría con la opción 2, dinámica.

En el caso de camino explicito, hay que asignar un nombre al camino (LP1 en el ejemplo) y luego indicar las directrices para establecerlo a través del comando **ip explicit-path name** *nombre-camino*. Por ejemplo, se puede indicar por que @IP tiene que pasar el túnel con el comando **next address** *@IP*. A continuación se define un camino explicito R1-R4-R3.

```
R1(config)# ip explicit-path name LP1
R1(cfg-ip-expl-path)# next-address 10.0.1.2      -> @IP de la primera interfaz del camino explicito
R1(cfg-ip-expl-path)# next-address 10.0.2.2      -> @IP de la segunda interfaz del camino explicito
R1(cfg-ip-expl-path)# next-address 10.1.1.103    -> loopback final incluida en el camino explicito
```

Finalmente, a un túnel se le puede asignar una prioridad para manejar la relación con otros túneles a través del comando **tunnel mpls traffic-eng priority** *setup-priority hold-priority*. Los dos parámetros definen esta prioridad (siendo 0 la más alta y 7 la más baja). El segundo parámetro *hold-priority* determina la prioridad del túnel una vez establecido. El primer parámetro *setup-priority* determina la prioridad del túnel a la hora de establecerlo; si no se encontrasen recursos suficientes, esta parámetro da la posibilidad de eliminar aquellos túneles que tienen un *hold-priority* más alto.

MPLS permite aplicar balanceo de carga entre túneles que tienen mismo origen y destino. Por defecto CISCO aplica un balanceo de carga que depende del ancho de banda de los túneles; si un túnel tunnel1 tiene 10 Mbps y un segundo túnel tunnel2 con mismo origen y destino tiene 2 Mbps, MPLS aplicaría un balanceo de carga con un factor 5 a 1 entre tunnel1 y tunnel2.

3.1.1 Verificación MPLS-TE

```
R# show mpls traffic-eng tunnels destination @IP     Visualiza los detalles de los túneles hasta @IP
R# show mpls traffic-eng tunnels brief               Visualiza los túneles creados
R# show ip rsvp sender                               Visualiza las sesiones RSVP establecidas
```

3.2 Realización de la práctica

Para la realización de esta práctica se usarán los router CISCO 1841 que tienen MPLS implementado en su IOS.

3.2.1 Parte 1

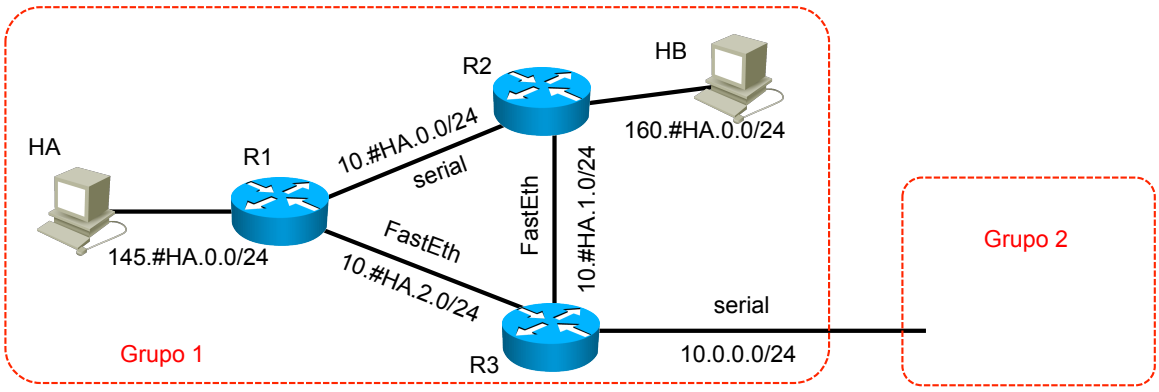

Figura 12: Red de la parte 1 de práctica.

Configurar la red de la Figura 12 siguiendo los pasos que se indican a continuación (es importante respetar el orden indicado):

1. Configurar las direcciones de loopback en R1-R3 como 1.#HA.1.X/32 donde #HA es el número del PC que hace de HA y X es el número del router RX.
2. Configurar las direcciones IP en todas las interfaces de la red que aparece en la figura de forma que hay conectividad entre dos interfaces vecinas. Notar que entre R1 y R2 se usa el enlace serie y también entre los routers R3 de los dos grupos. Recordar que para los enlaces serie hay que configurar la velocidad de transmisión[1].
3. Configurar encaminamiento interno (OSPF) en los routers. Distribuir las redes y las loopbacks por OSPF usando una única área. No distribuir OSPF hacia los hosts[2]. Comprobar que hay conectividad entre los hosts.
4. Activar MPLS en los routers R1, R2 y R3.
5. Comprobar el estado de MPLS y de LDP y comprobar las tablas de encaminamiento, FIB, LIB y FLIB.

---

[1] El comando es **clockrate** *bitrate*. Para esta practica poner bitrate a 56000.

[2] Comando **passive-interface** *interface*. En el caso de R3, seria **R3(config-router)#** passive-interface fastethernet1/0

3.2.2 Parte 2

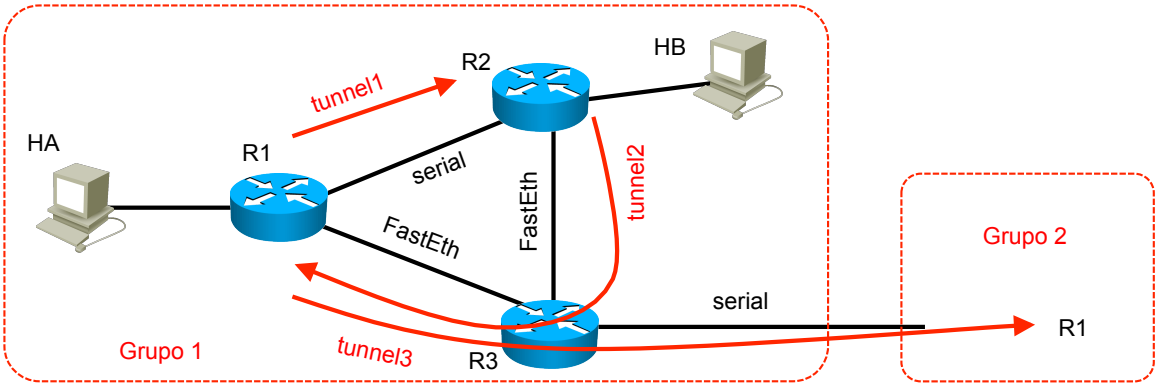

Figura 13: Red de la parte 2 de la práctica.

Manteniendo la misma topología, activar los 3 túneles con MPLS-TE como en la Figura 13 siguiendo los pasos que se indican a continuación (es importante respetar el orden indicado):

1. Manteniendo la configuración anterior, activar las extensiones TE en MPLS, en las interfaces (solo las que van hacia otro routers, no las que van a los hosts) y en OSPF como en explicado en la Sección 3.3.2.
2. Configurar RSVP con ancho de banda máximo de 1000 kbps en las interfaces fastethernet y de 100 kbps en las series como indicado en la Sección 3.3.2. No configurar el ancho de banda máximo por túnel.
3. Activar el túnel Tunnel1 de 50 kbps entre R1 y R2 entre las interfaces de loopbacks de R1 y R2. Comprobar que el túnel está activo.
4. Activar el túnel Tunnel2 de 100 kbps entre R2 y R1 entre las interfaces de loopbacks de R2 y R1. Comprobar que el túnel está activo.
5. Comprobar, usando Traceroute, que un ping entre H_A y H_B pasa por los túneles.
6. Activar el túnel Tunnel3 de 50 kbps entre los routers R1 de cada grupo usando las interfaces de loopback. Comprobar que el túnel está activo.