

Tema 4
Tecnología de Conmutación de Etiquetas

Sistemas de Conmutación
Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación
3º Curso

Juan Manuel López Soler, Pablo Ameigeiras Gutiérrez, Pablo Muñoz Luengo
Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones
E.T.S. Ingenierías Informática y Telecomunicación – Universidad de Granada
C/ Periodista Daniel Saucedo Aranda, s/n - 18071 – Granada (Spain)
Teléfono: +34-958 242306 - Fax: +34-958 243032 - Email: pameigeiras@ugr.es

Índice de Contenidos

1. Introducción
2. Fundamentos de MPLS
3. Modos de Distribución de Etiquetas
4. Label Distribution Protocol
5. RSVP-TE

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

 **Bibliografía**

-  **A. Farrel:** *The Internet and its Protocols. A Comparative Approach*, Morgan Kaufmann, 2004
-  **J. Evans:** *Deploying IP and MPLS QoS for multiservice networks : theory and practice*, Morgan Kaufmann, 2007
-  **E. Osborne & A. Simha:** *Traffic Engineering with MPLS*. Cisco Press, 2003
-  **I. Pepelnjak & J. Guichard:** *MPLS and VPN Architectures, A Practical Guide to Understanding, Designing and Deploying MPLS and MPLS-Enabled VPNs*. Cisco Press, 2001

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

3

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)



 **4.1. Introducción**

-  Los algoritmos de encaminamiento en redes IP convencionales, p.ej. OSPF e IS-IS, calculan las tablas de encaminamiento basándose en el camino de menor coste hacia la subred destino
-  Adicionalmente, el reenvío en routers IP está basado en "longest prefix matching"
-  Estos protocolos de encaminamiento no consideran la disponibilidad de recursos de red, como por ejemplo ancho de banda
-  Esto puede provocar que el tráfico se concentre en caminos de menor coste provocando la congestión de estos enlaces

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.1. Introducción

El problema "pez"

Legend
 — = 2.5 Gbps link (metric shown next to link)
 → = Path for 1 Gbps R1 to R8 demand
 → = Path for 2 Gbps R2 to R8 demand

- El camino más corto es R1/R2 → R3 → R4 → R7 → R8
- El camino más corto sufre una carga ofrecida de 3Gbps (congestión), mientras que hay capacidad disponible por R5 y R6

5

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.1. Introducción

- Ingeniería de tráfico:
 - (rfc 3272) consiste en el control y optimización de la función de encaminamiento para conducir el tráfico a través de la red de la manera más efectiva
 - Conduce el tráfico con el objetivo de prevenir enlaces congestionados y otros infrautilizados
- Por otro lado, ATM (y Frame Relay) son tecnologías nivel 2 que ofrecen SOC (no fiable) con CV: son aptas para ingeniería de tráfico y QoS.
- ATM es una tecnología cara que implica un 15% de overhead, con prestaciones limitadas (p.ej. interfaces a 2.5 Gbps ó 622

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

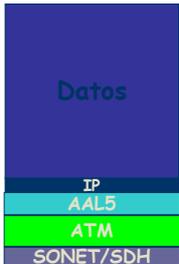


Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

7

4.1. Introducción

- Alternativas:
 - POS (PPP over SONET/SDH) reduce el overhead (3% aprox.) y sin necesidad de conmutadores





→ PPP



- Gigabit Ethernet
- Problema: POS y Ethernet no facilitan ingeniería de tráfico ni QoS
- Solución: Multi Protocol Label Switching MPLS

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)





Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.2. Fundamentos de MPLS

- MPLS es una tecnología de área extensa
- MPLS: asocia una pequeña etiqueta con cada "paquete" de la red, para facilitar su conmutación.
- MPLS es independiente de la tecnología de nivel 2 (PPP, ATM, FR, ethernet, etc). A veces se denomina nivel 2.5
- La etiqueta identifica una especie de "circuito virtual" denominado **Label Switched Path (LSP)**
- Los routers MPLS se denominan **Label Switching Router: LSR**
 - **LSR frontera:** se encargan de etiquetar los "paquetes" de entrada (dependiendo de una clasificación previa) y de eliminar la etiqueta a la salida.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez



4.2. Fundamentos de MPLS

Las etiquetas MPLS se sitúan entre la capa 3 (IP) y la capa 2.

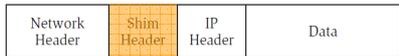


Figure 9.1 The shim header is inserted between the network protocol header and the IP header.



Figure 9.2 The shim header carries a 20-bit label.

- Cada LSR mantiene una tabla denominada **Label Forwarding Information Base (LFIB)** a partir de la cual se determina el siguiente nodo y la etiqueta.
- El camino seguido (LSP) está controlado por la sucesión de etiquetas
- Como el etiquetado en cada nodo es fijo (dependiendo de la etiqueta de entrada y la interfaz), el camino estará determinado por el primer LSR.

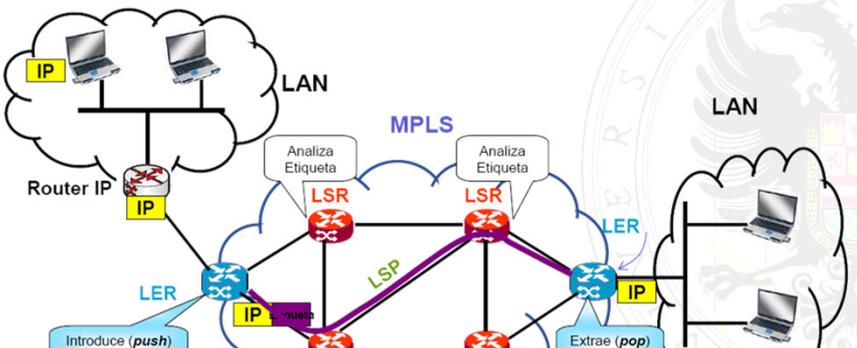
Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez



4.2. Fundamentos de MPLS



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

4.2. Fundamentos de MPLS

FEC

| FEC | Interfaz de salida | Etiqueta de salida |
|-----|--------------------|--------------------|
| a | 2 | 70 |
| b | 2 | 23 |

Table 1

| Interfaz de entrada | Etiqueta de entrada | Interfaz de salida | Etiqueta de salida |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 2 | 34 | 4 | 17 |
| 3 | 71 | 4 | 77 |

Table 2

| Interfaz de entrada | Etiqueta de entrada | Interfaz de salida | Etiqueta de salida |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 70 | 3 | 34 |
| 1 | 23 | 4 | 80 |

Table 3

| Interfaz de entrada | Etiqueta de entrada | Interfaz de salida | Etiqueta de salida |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 80 | 2 | 71 |

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)

4.2. Fundamentos de MPLS

Label pushing

| FEC | op | out-label | interface |
|-----|------|-----------|-----------|
| F1 | push | 99 | if1 |

Label popping

| In-Interface | in-label | op | out-label | out-interface |
|--------------|----------|-----|-----------|---------------|
| if 3 | 203 | pop | | (IP lookup) |

Label swapping

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



4.2. Fundamentos de MPLS

- A todos los paquetes que son retransmitidos de igual forma se les denomina *Forwarding Equivalence Class (FEC)*.
- El LSR frontera determina la FEC mediante una serie de parámetros:
 - En el caso más sencillo según la IP destino
 - Una sub-red destino, una clase de servicio, la IP origen , o incluso la aplicación.
- LSPs se pueden fusionar en uno solo en un nodo intermedio para una FEC dada
- Para incrementar la escalabilidad, MPLS permite anidar o "tunelar" LSPs en varios niveles para encaminarlos así conjuntamente (en el core) mientras que se respeta su individualidad en la periferia.
- *Penultimate Hop Popping*: es un proceso en el cual la etiqueta de mayor nivel se elimina un salto antes del final del túnel

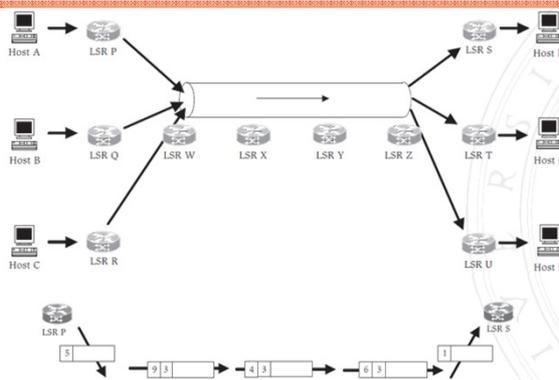
13

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)





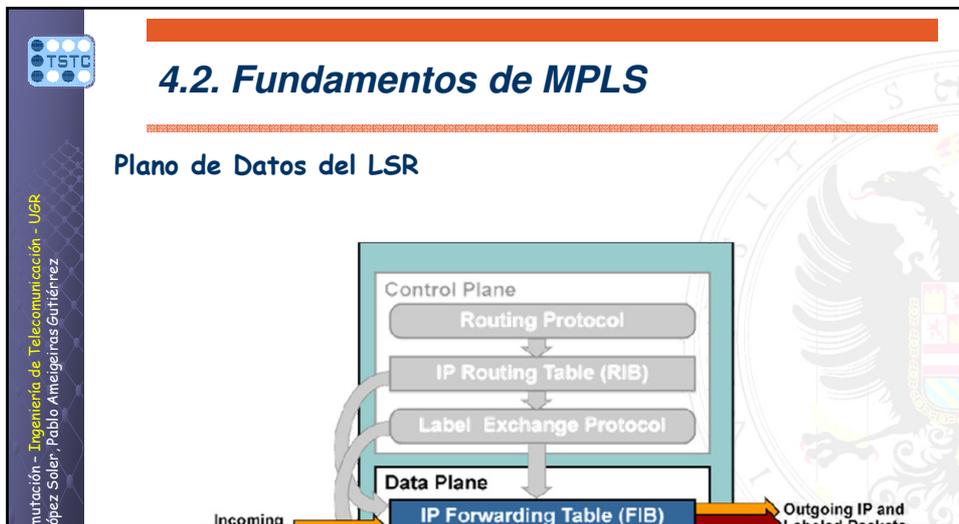
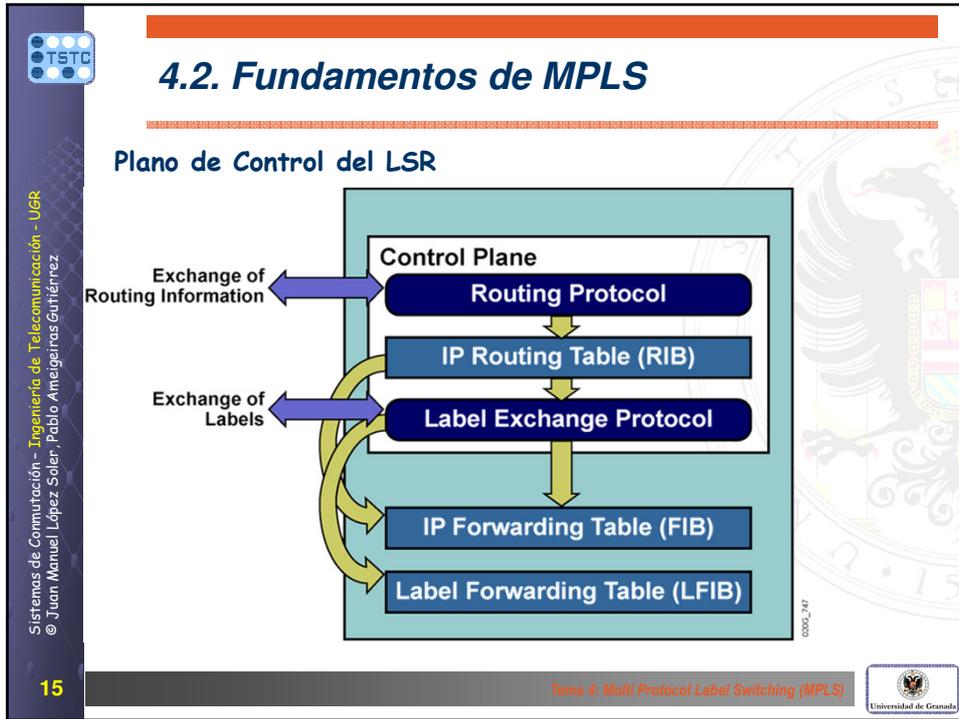
4.2. Fundamentos de MPLS



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

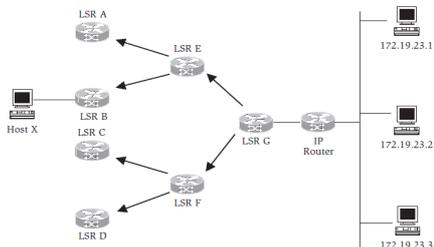
Cartagena99



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.3. Modos de Distribución de Etiquetas

- ❏ ¿Cómo distribuir las etiquetas? IETF no ha especificado un único protocolo para la distribución de etiquetas (poblar la tabla LFIB).
- ❏ Las etiquetas son asignadas y anunciadas de abajo a arriba (en contra del sentido del tráfico). Hay básicamente dos tipos de distribución:
 - **Sin solicitud explícita:** Los LSRs asignan y anuncian etiquetas para las rutas de su tabla de rutas. Cada LSR analiza su tabla de *routing*, anunciando una FEC y una etiqueta por cada una de las interfaces de salida.



- Es costosa pues se anuncian rutas que probablemente nadie vaya a usar

- Pueden anunciarse rutas no óptimas, ejemplo si C estuviera conectado a D anunciaría un LSP no óptimo a través de F

17

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)





Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.3. Modos de Distribución de Etiquetas

- **Con solicitud explícita (Distribución bajo demanda):** en este modo el LSR de arriba (*upstream*) solicita explícitamente para una FEC dada al LSR de abajo (*downstream*) una etiqueta, el cual se la asignará. El disparo de la solicitud puede estar controlado por diversos factores, por ejemplo:
 - un umbral del tráfico cursado por unidad de tiempo para un destino dado
 - por entradas nuevas de routing (la solicitud de la etiqueta se dirige al siguiente LSR según la tabla de encaminamiento).
- ❏ IETF ha especificado 3 normas para la distribución de etiquetas
 - LDP: *Label Distribution Protocol* fue el primer standard IETF para la distribución de etiquetas.
 - CR-LDP: *Constraint Routing Label Distribution Protocol*

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



4.4. Label Distribution Protocol

- **Label Distribution Protocol (LDP)**
- LDP está diseñado para el encaminamiento salto-a-salto
- Dos LSRs que usen LDP para intercambiar etiquetas se denominan *pares LDP*
- LDP permite reducir las tablas de *routing* en el core
- Hay **4 categorías** de mensajes entre LDP pares:
 - **Descubrimiento:** se usan para anunciar y mantener la presencia de un LSR en la red
 - **Sesión:** para establecer, mantener y terminar sesiones entre pares.
 - **Anuncios:** para crear, cambiar o borrar asignaciones de etiquetas a FECs.
 - **Notificación:** para distribuir información de errores.

19

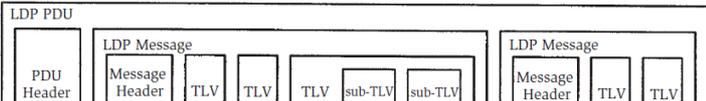
Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)





4.4. Label Distribution Protocol

- **LDP: Formato de los mensajes**
- La PDU se compone de mensajes: unos son obligatorios (en primer lugar) y otros opcionales
- Extensibilidad: los parámetros LDP utilizan sintaxis TLV (Type-Length-Variable)
- U = 1 → el mensaje o parámetro se puede ignorar
- U=1 y F=1 → el parámetro desconocido se debe reenviar



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez



4.4. Label Distribution Protocol

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Version | | | | | | | | | | PDU Length | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LSR Identifier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Label Space Identifier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 9.12 The LDP PDU header.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| U Message Type | | | | | | | | | | Message Length | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Message Identifier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 9.13 The LDP message header.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| U F TLV Type | | | | | | | | | | TLV Length | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Value or Sub-TLVs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 9.14 The LDP TLV common format.

21
Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)


Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez



4.4. Label Distribution Protocol

- LDP: Mensajes de Descubrimiento
- Se usan para anunciar y mantener la presencia de un LSR en la red
- Mensajes "HELLO":
 - Enviados periódicamente por cada LSR en todos los interfaces habilitados MPLS
 - Se transportan sobre UDP. Están dirigidos a todos los routers de la subred (IP multicast 224.0.0.2, puerto 646)
 - Aunque los "HELLO" suelen ser *multicast* (para LSRs directamente conectados), también pueden ser entre LSRs remotos en *unicast* (T/R targeted hellos)
 - La relación de paridad es soft-state (HELLO periódicos)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

23

4.4. Label Distribution Protocol

| | | | |
|---------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------------|
| 0 | 1 | 2 | 3 |
| 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 |
| Hello (0x0100) | | Message Length | |
| Message Identifier | | | |
| 0 0 | Common Hello Parameters (0x0400) | | Length |
| Hold Time | | T R | Reserved |
| Optional TLVs | | | |

Formato Mensaje HELLO



Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)





Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.4. Label Distribution Protocol

- **LDP: Mensajes de Session**
- Se usan para establecer, mantener y terminar sesiones entre pares. Se fijan parámetros de la sesión LDP
- Tras el establecimiento de la conexión TCP entre pares, se envía un mensaje INIZIALIZATION
- Los mensajes "INIZIALIZATION" contienen:
 - La versión LDP
 - El timeout (soft-state) de los mensajes periódicos para mantener la sesión abierta
 - EL tamaño máximo de la PDU de LDP a recibir
 - El modo de distribución de etiquetas (bit A)



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**





Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

25

4.4. Label Distribution Protocol

- Si el LSR receptor acepta los parámetros:
 - genera una confirmación explícita (mediante un mensaje tipo KEEPALIVE)
 - y envía su propio mensaje de INIZIALIZATION (no tienen por qué ser los mismo)
- Los mensajes "KEEPALIVE":
 - Se usan para a confirmación explícita del mensaje de INIZIALIZATION
 - Además, se transmiten de forma periódica por ambos pares para detectar si la sesión ha fallado (soft-state)





Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.4. Label Distribution Protocol

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|---|---|---|---|---|----------------|---|--------------------|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 |
| Initialization (0x0200) | | | | | | | | | | Message Length | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Message Identifier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 0 | | Common Session Parameters (0x0500) | | | | | | | | | | | | | | | | | | Length | | | | | | | | | | | |
| Protocol Version | | | | | | | | | | | | | | | | KeepAlive Time | | | | | | | | | | | | | | | |
| A D | | Reserved | | | | | | | | Path Vector Limit | | | | | | | | Maximum PDU Length | | | | | | | | | | | | | |
| Receiver LDP Identifier | | | | | | | | | | | | | | | | Optional TLVs | | | | | | | | | | | | | | | |

Formato Mensaje INIZIALIZATION



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





4.4. Label Distribution Protocol

- Los mensajes "ADDRESS":
 - especifica la lista de direcciones IP del LSR para hacer un mapping entre el LSR ID → dir IP



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

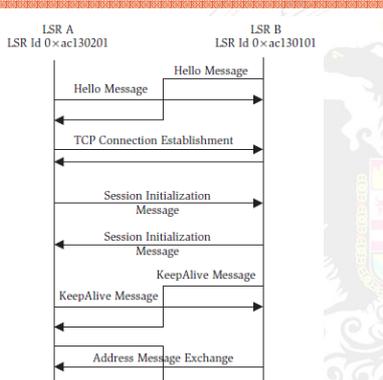
Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)

27



4.4. Label Distribution Protocol

- Establecimiento de la sesión



```

sequenceDiagram
    participant LSR_A as LSR A  
LSR Id 0xac130201
    participant LSR_B as LSR B  
LSR Id 0xac130101
    LSR_A->>LSR_B: Hello Message
    LSR_B->>LSR_A: Hello Message
    LSR_A->>LSR_B: TCP Connection Establishment
    LSR_B->>LSR_A: TCP Connection Establishment
    LSR_A->>LSR_B: Session Initialization Message
    LSR_B->>LSR_A: Session Initialization Message
    LSR_A->>LSR_B: KeepAlive Message
    LSR_B->>LSR_A: KeepAlive Message
    LSR_A->>LSR_B: Address Message Exchange
    LSR_B->>LSR_A: Address Message Exchange
    
```

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)

27

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70





4.4. Label Distribution Protocol

- **LDP: Mensajes de Anuncio**
 - Se emplean para crear, cambiar o borrar asignaciones de etiquetas a FECs
 - En ambos casos (bajo demanda y sin solicitud explícita) el downstream LSR envía un mensaje "LABEL MAPPING" indicando que para las FEC indicadas el LSR upstream debe etiquetar el paquete y enviarlo a la interfaz por la que se recibe el mensaje.
 - Los mensajes "LABEL MAPPING":
 - Asignan una etiqueta
 - Especifican uno o más elementos que componen la FEC
 - Hay sólo 2 formas de especificar los elementos de FECs definidas:
 - - prefijo de red destino
 - - host address destino



29

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)



4.4. Label Distribution Protocol

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 |
| Label Mapping (0x0400) | | | | | | | | | | Message Length | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Message Identifier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FEC (0x0100) | | | | | | | | | | FEC Length | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FEC Elements | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Label Type Indicator (0x020?) | | | | | | | | | | Label Length = 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Label Information | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.4. Label Distribution Protocol

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 |
| 0 | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 0 | 1 |
| 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 0 | 1 |

| | | |
|---------------|----------------|---------------|
| Prefix (0×02) | Address Family | Prefix Length |
| Prefix | | |

| | | |
|---------------------|----------------|----------------|
| Host Address (0×03) | Address Family | Address Length |
| Host Address | | |

Formato Elementos FEC



31

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.4. Label Distribution Protocol

- Si se recibe un "LABEL MAPPING", el LSR consulta su tabla LFIB:
 - Si no existe una entrada para esa FEC, se crea
 - Si existe, se elige mediante un criterio (o mediante las tablas de routing) la mejor opción y se actualiza la tabla LFIB (ver modos de retención)
- En "Downstream on demand" la solicitud de etiquetas se hace mediante el mensaje "LABEL REQUEST".



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

33

4.4. Label Distribution Protocol

| | | | |
|------------------------|----------------|--------------|------------|
| 0 | 1 | 2 | 3 |
| 0 | 1 | 2 | 3 |
| 0 | 1 | 2 | 3 |
| Label Request (0×0401) | Message Length | | |
| Message Identifier | | | |
| 0 | 0 | FEC (0×0100) | FEC Length |
| FEC Elements | | | |
| Optional TLVs | | | |

Formato Mensaje LABEL REQUEST



Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.4. Label Distribution Protocol

Modos de retención de etiquetas:

cuando un LSR recibe un anuncio de un LSR mejor para una FEC dada, puede elegir entre 2 modos de retención de etiquetas: **liberal** o **conservador**

- **"liberal"** (generoso/tolerante): se mantienen las asociaciones FEC-etiqueta recibidas de LSRs que no sean el siguiente salto para esa FEC (guarda un histórico)
- **"conservador"** (restrictivo) se descartan esas asociaciones enviando -si está configurado- un "LABEL RELEASE" (hacia abajo).
- El modo de retención liberal permite una adaptación más rápida a los cambios de *routing*. Es preferible en "*downstream unsolicited*" aunque no obligatorio. ¿Cuál es el precio?



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de junio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

TSTC

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

35

4.4. Label Distribution Protocol

Eliminación de etiquetas

- Se envía *upstream* (de abajo a arriba) un mensaje "LABEL WITHDRAW"
- Si un LSR recibe un "LW":
 - Borra la entrada en la LFIB y puede generar un "LW" hacia arriba
 - Si está en Modo Liberal puede conmutar eligiendo un nuevo camino para esa FEC
- Tras recibir un "LW" se responde ("downstream") un mensaje de confirmación "LABEL RELEASE" de parecido formato.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 |
| Label Withdraw (0x0402) | | | | | | | | | | | Message Length | | | | | | | | | | |
| Message Identifier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FEC (0x0100) | | | | | | | | | | | FEC Length | | | | | | | | | | |
| FEC Elements | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Label TLV (optional) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- El campo opcional "Label TLV" sirve para eliminar selectivamente una etiqueta específica para la FEC, dejando las otras operativas.

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)

TSTC

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.4. Label Distribution Protocol

Ejemplo: "Downstream Unsolicited"



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TSTC

Sistemas de Computación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

37

4.4. Label Distribution Protocol

Ejemplo: "Downstream Unsolicited"

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)

Universidad de Granada

TSTC

Sistemas de Computación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.4. Label Distribution Protocol

Ejemplo: "Downstream Unsolicited" en modo conservador

Datos →

Liberación de etiquetas de abajo a arriba
(© Adrian Farrel)

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**



TSTC

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

39

4.4. Label Distribution Protocol

Ejemplo: "Downstream on Demand" en modo conservador

Liberación de etiquetas de arriba abajo
(© Adrian Farrel)

Opcionalmente (por configuración) solicita la liberación
El mensaje "label release" es opcional

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)

TSTC

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.5. RSVP-TE

Resumen de Resource Reservation Protocol (RSVP)

- Protocolo que opera sobre IP (plano de control)
- Permite al destino de un flujo de tráfico reservar recursos para garantizar una QoS
- Permite a la fuente del flujo caracterizar el tráfico que va a generar
- Una sesión RSVP es un conjunto de flujos de datos definidos por la dirección IP destino, el ID del protocolo de transporte, y el número de puerto (opcional)
- Dentro de una sesión puede haber una o múltiples fuentes

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**



 **4.5. RSVP-TE**

- La fuente envía periódicamente mensajes PATH al destino
 - Los mensajes PATH siguen la misma ruta que el flujo de tráfico
- Los mensajes PATH transportan la siguiente información:
 - Dirección del salto (router) anterior
 - Identificador de la sesión RSVP
 - *Sender Template*: Dir IP origen y puerto origen
 - *Tspec*: descriptor de los límites superiores del tráfico generado por la fuente
- Cuando un router intermedio recibe un mensaje PATH, reemplaza la dir IP del salto anterior por su propia dir IP, y lo reenvía hacia el siguiente salto

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

41

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)



 **4.5. RSVP-TE**

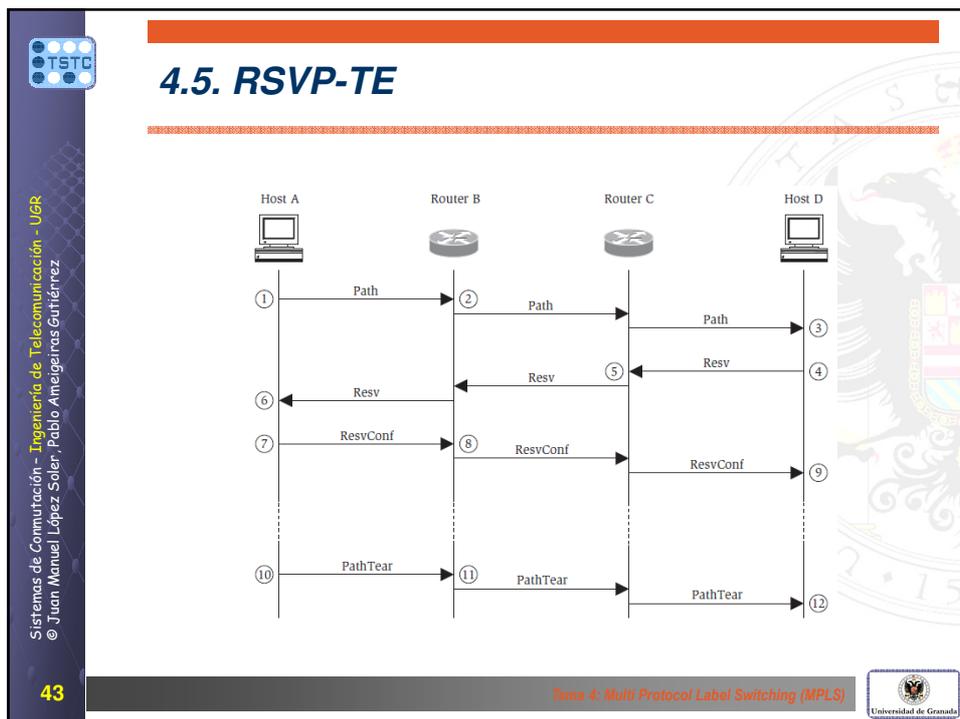
- Cuando el receptor recibe un mensaje PATH ⇒ responde con un mensaje RESV que incluye:
 - El estilo de reserva (indica qué flujos reservan los recursos):
 - Filtro fijo (FF): reserva distintos recursos para cada flujo
 - Explícita-Compartida (SE): lista múltiples flujos que comparten los mismos recursos
 - Filtro Wildcard: reserva recursos compartidos por todos los flujos de una sesión
 - *Flowspec*: define la QoS requerida para el flujo
 - *Filterspec*: define los paquetes que componen el flujo
- Cada router intermedio guarda el Filterspec y asigna los recursos para garantizar la QoS. → reenvía el mensaje

Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**





4.5. RSVP-TE

- RSVP-TE (RFC 3209):**
 - Reutilización del protocolo de señalización para reserva de recursos RSVP para la distribución de etiquetas.
 - RSVP es *soft-state*, mientras que los LSPs no cambian tanto, para solventar esto se han desarrollado técnicas de reducción del overhead necesario para los "refresh" de RSVP (RFC 2961)
 - Opera siempre en modo "Downstream on demand"
 - Las solicitudes ("label request") se realizan mediante mensajes PATH (incluyen objeto Label Request Object)
 - El SenderTemplate incluye un LSP id

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**





4.5. RSVP-TE

- Adicionalmente, la información del Tspec y del FlowSpec no se usa en RSVP-TE salvo el bit rate medio, que **indica el ancho de banda que el LSP quiere reservar**
- Cada router que recibe el mensaje PATH ejecuta control de admisión y reenvía el mensaje PATH
- Las etiquetas se anuncian ("label mapping") (en respuesta al PATH) mediante mensajes RESV (Label Object)
- La ruta del túnel LSP es calculada por :
 - Por el router origen del LSP
 - Por una función centralizada
- En ambos casos se ejecuta el algoritmo de encaminamiento Constraint-Based Shortest Path First (CSPF)
- CSPF es una versión del algoritmo de Dijkstra de SPF que tiene en cuenta los requisitos (p.ej. de ancho de banda) de los enlaces

45

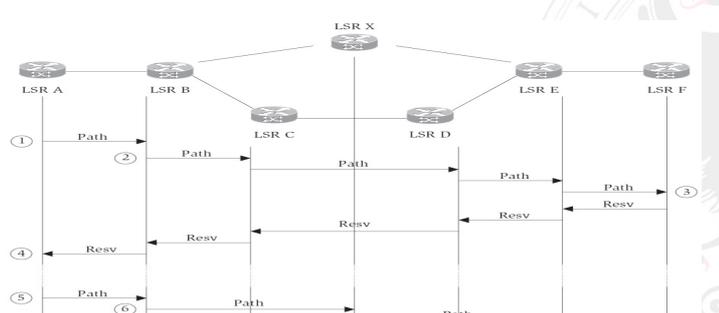
Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)





4.5. RSVP-TE

RSVP-TE (RFC 3209): Adrian Farrel



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez



4.5. RSVP-TE

- Los LSRs necesitan información detallada de los recursos de la red para poder ejecutar CSPF
- Cada router señala dicha información a lo largo de la red
 - Para ello se usa una extensión del protocolo OSPF

| Atributo | Descripción |
|----------------------------------|---|
| Dirección de la interfaz | Dirección IP de la interfaz correspondiente al enlace |
| Dirección del vecino | Dirección IP de la interfaz del router vecino correspondiente al enlace |
| Máximo ancho de banda del enlace | Capacidad del enlace en la dirección hacia el router vecino |
| Ancho de banda reservable | Máximo ancho de banda que puede ser reservado (en la dirección hacia el router vecino) |
| Ancho de banda no reservado | Ancho de banda disponible en cada uno de los (ocho) niveles de prioridad (en la dirección hacia el router vecino) |
| Coste TE | Coste del enlace para TE (puede ser distinto del coste de IGP) |
| Grupo administrativo | Flags administrativas asociadas con el enlace para políticas de inclusión/exclusión |

47
Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)


Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
 © Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez



4.5. RSVP-TE

| | | | |
|-----|---|--------------------------------|--|
| T=0 |  | <p>Link L, BW=100</p> <p>→</p> | <p>D advertises: AB(0)=100=...= AB(7)=100 AB(i) = 'Available Bandwidth at priority I'</p> |
| T=1 | <p>Setup of a tunnel over L at priority=3 for 30 units</p> | | |
| T=2 |  | <p>Link L, BW=100</p> <p>→</p> | <p>D advertises: AB(0)=AB(1)=AB(2)=100 AB(3)=AB(4)=...=AB(7)=70</p> |
| T=3 | <p>Setup of an additional tunnel over L at priority=5 for 30 units</p> | | |

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

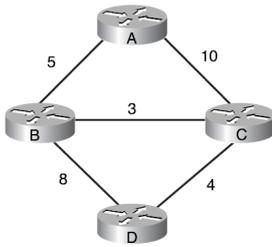


Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.5. RSVP-TE

Repaso del Algoritmo SPF

- Cada router en la red tiene una base de datos que incluye, para cada router, sus vecinos y los costes de dichos enlaces



| Router | {neighbor, cost} Pairs |
|--------|------------------------|
| A | {B,5} {C,10} |
| B | {A,5} {C,3} {D,8} |
| C | {A,10} {B,3} {D,4} |
| D | {B,8} {C,4} |

- Cada router mantiene dos listas:
 - PATH: lista de routers que están en el camino más corto hacia un destino
 - TENT: lista de routers que pueden estar y pueden no estar en el camino más corto hacia un destino

49

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)




Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.5. RSVP-TE

Repaso del Algoritmo SPF

- La lista está compuesta por ternas del tipo {router destino, distancia, siguiente salto}
- Pasos del Algoritmo:
 1. Incluir el propio router en la lista PATH con distancia 0
 2. Denominar nodo PATH al último router incluido en la lista PATH. Añadir cada vecino del nodo PATH a la lista TENT a menos que dicho vecino ya se encuentre en la lista PATH o TENT con menor coste. Para cada vecino añadido a la lista TENT, establecer su coste como la suma del coste al nodo PATH + el coste desde el nodo PATH a dicho vecino. Si el nodo añadido a la lista TENT ya existe en dicha lista pero con mayor coste, este se reemplaza con

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



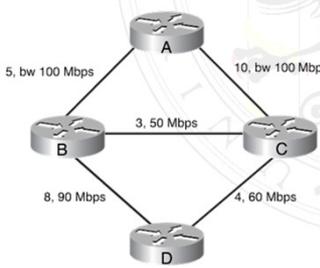


4.5. RSVP-TE

Algoritmo CSPF

- Dos diferencias principales con el algoritmo SPF:
 - El algoritmo no tiene que calcular la ruta hacia todos los routers, sino únicamente al router destino del LSP \Rightarrow el algoritmo termina cuando el router destino está en la lista PATH
 - Cada enlace entre dos vecinos, además del coste, también incluye:
 - Ancho de banda disponible
 - Atributos del enlace
 - Coste TE del enlace




51
Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)



4.5. RSVP-TE

Algoritmo CSPF

- En las listas PATH y TENT, las ternas {router destino, distancia, siguiente salto} deben incluir los nuevos atributos
- Pasos del Algoritmo:
 1. Incluir el propio router en la lista PATH con distancia 0
 2. Denominar nodo PATH al último router incluido en la lista PATH. Añadir cada vecino del nodo PATH a la lista TENT a menos que dicho vecino ya se encuentre en la lista PATH o TENT con menor coste. **No añadir este camino en la lista TENT si no cumple los requisitos (p.ej. ancho de banda) del LSP.** Para cada vecino añadido a la lista TENT, establecer su coste como la suma del coste al nodo PATH + el coste desde el nodo PATH a dicho vecino.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.5. RSVP-TE

Ejemplo del Algoritmo CSPF

Paso 1

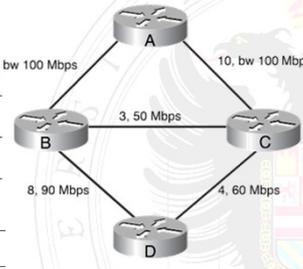
| PATH List | TENT List: |
|----------------|------------|
| {A,0,self,N/A} | (empty) |

Paso 2

| PATH List | TENT List |
|----------------|--------------|
| {A,0,self,N/A} | {B,5,A,100} |
| | {C,10,A,100} |

Paso 3

| PATH List | TENT List |
|----------------|--------------|
| {A,0,self,N/A} | {C,10,A,100} |
| {B,5,A,100} | {D,13,B,90} |



53

Tema 4: Multi Protocol Label Switching (MPLS)





Sistemas de Comunicación - Ingeniería de Telecomunicación - UGR
© Juan Manuel López Soler, Pablo Ameiginas Gutiérrez

4.5. RSVP-TE

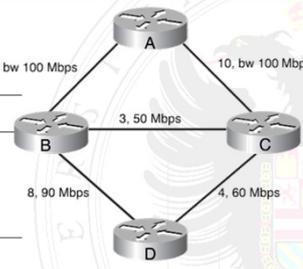
Ejemplo del Algoritmo CSPF

Paso 4

| PATH List | TENT List |
|----------------|-------------|
| {A,0,self,N/A} | {D,13,B,90} |
| {B,5,A,100} | |
| {C,10,A,100} | |

Paso 5

| PATH List | TENT List |
|----------------|-----------|
| {A,0,self,N/A} | |
| {B,5,A,100} | |
| {C,10,A,100} | |



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1.º de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 13 de junio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.