



Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telemática



Sistemas de Conmutación

Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (MPLS)



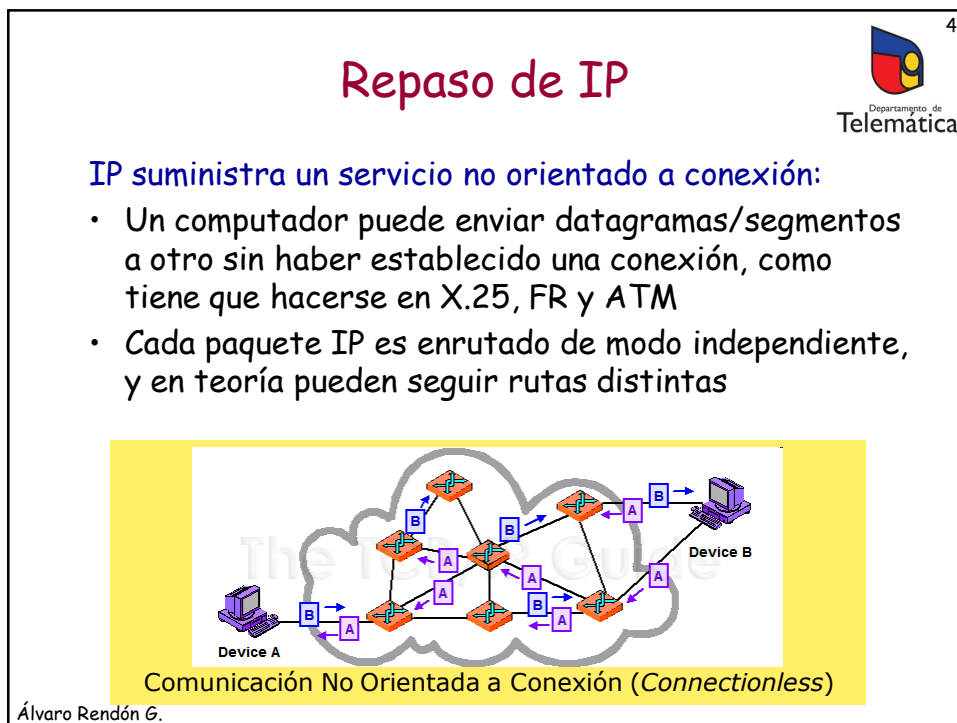
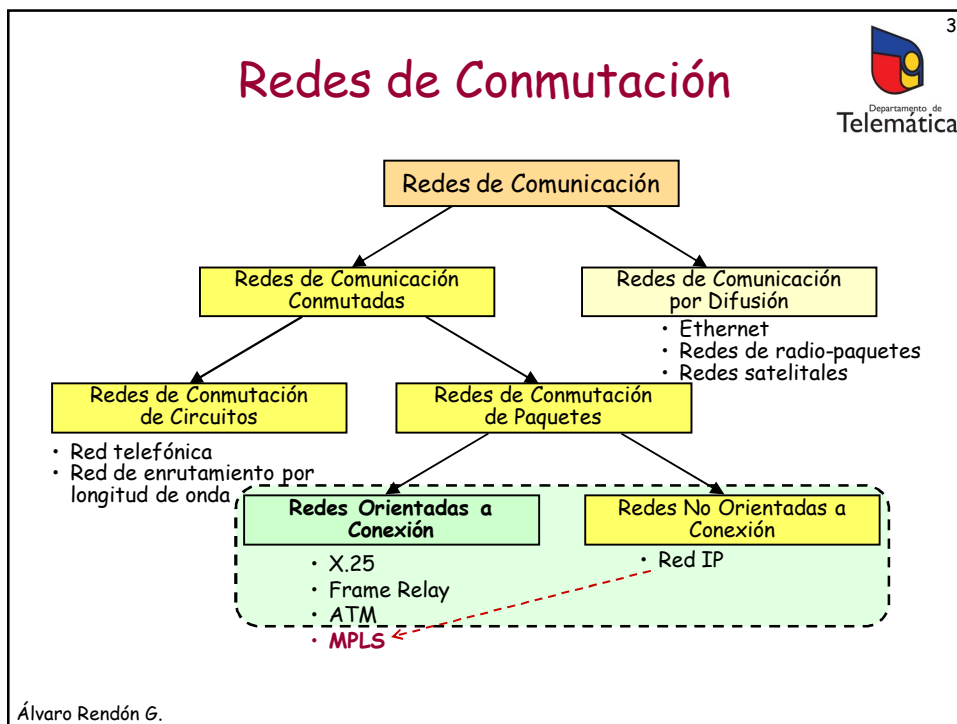
Dr. Ing. Álvaro Rendón Gallón
Popayán, enero de 2012

Temario



2

- **Introducción**
 - Repaso de IP
 - IP sobre ATM
 - Generalidades MPLS
- **Arquitectura**
- **Protocolos de distribución de etiquetas**

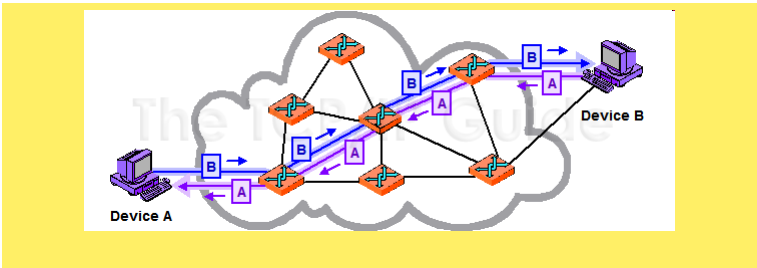


5

Repaso de IP

Departamento de Telemática

- En la práctica, los enrutadores usan tablas de enrutamiento que no cambian con frecuencia, luego típicamente los paquetes con el mismo destino (*mismo prefijo*) siguen el mismo camino
- Las tablas de enrutamiento son refrescadas periódicamente teniendo en cuenta enlaces congestionados y fallas en enrutadores y enlaces



Álvaro Rendón G.

6

Repaso de IP

Departamento de Telemática

Enrutador RUDC
Tabla (simplificada) de enrutamiento

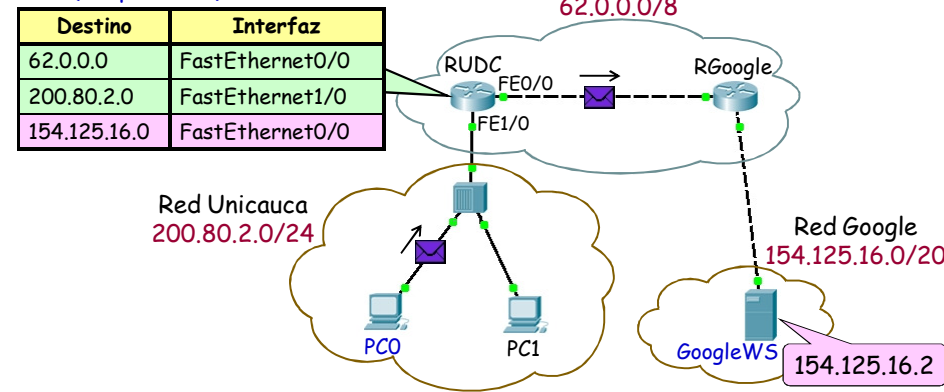
Destino	Interfaz
62.0.0.0	FastEthernet0/0
200.80.2.0	FastEthernet1/0
154.125.16.0	FastEthernet0/0

Red Emtel 62.0.0.0/8

Red Unicauca 200.80.2.0/24

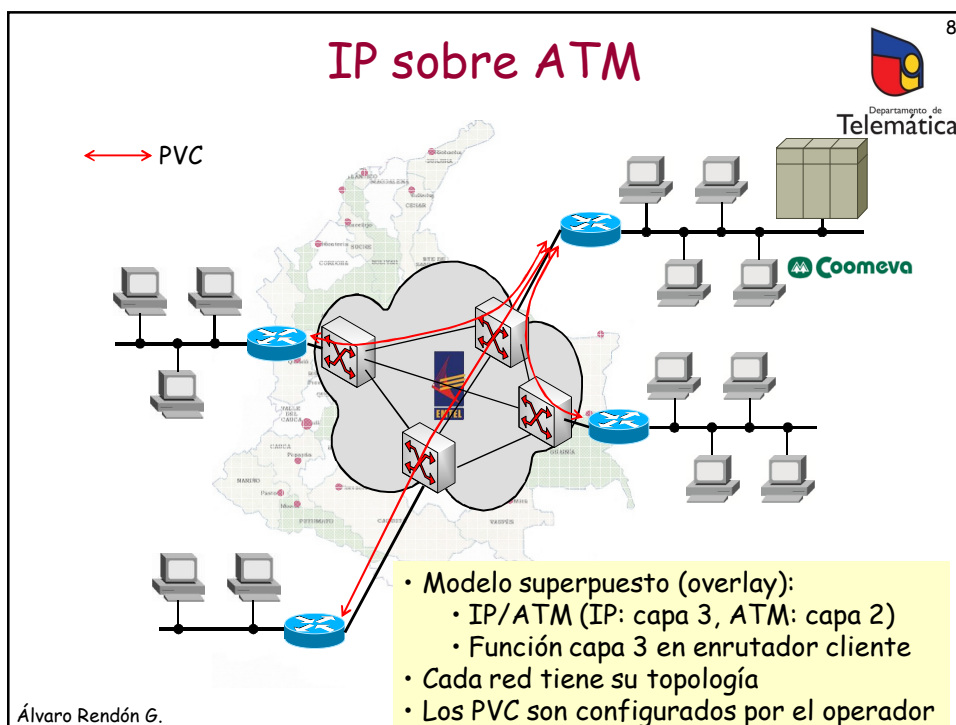
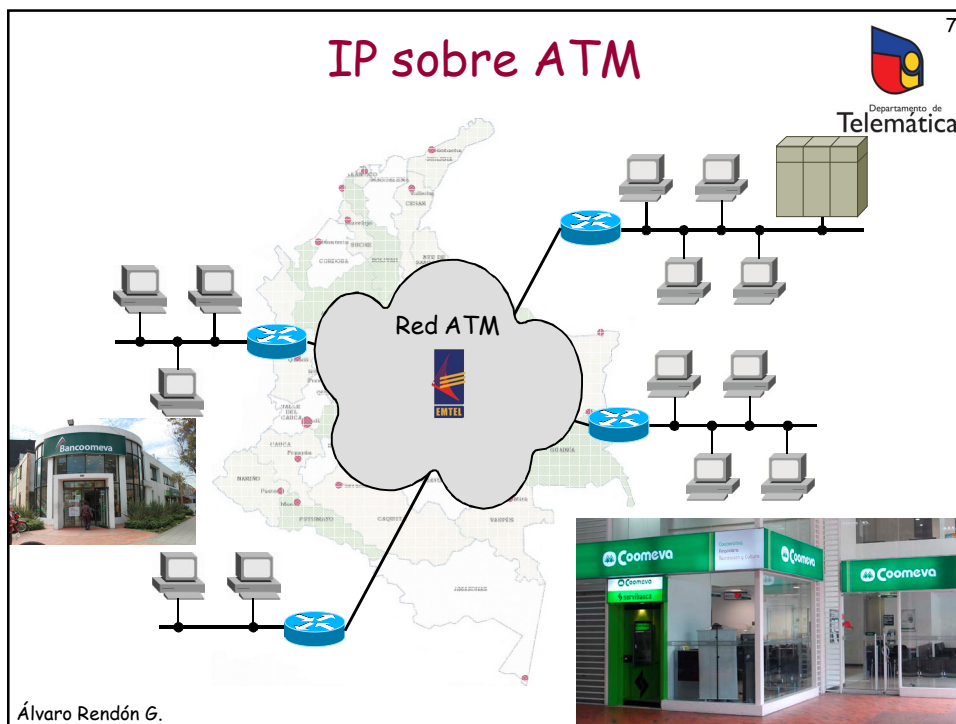
Red Google 154.125.16.0/20

154.125.16.2





- Un paquete enviado por PC0 a GoogleWS llega al enrutador RUDC
- RUDC extrae la dirección de destino (154.125.16.2) y encuentra que concuerda con el prefijo 154.125.16.0 en la tabla de enrutamiento
- El paquete es reenviado por la interfaz FastEthernet0/0

Álvaro Rendón G.





IP sobre ATM

 PVC



Departamento de Telemática






n puntos de acceso
Un solo cliente!!!


- Problema de escalabilidad
- Difícil administración
- Crecimiento geométrico de No. de PVC
- Peor caso: todos contra todos

No. PVC = $n*(n-1)/2$

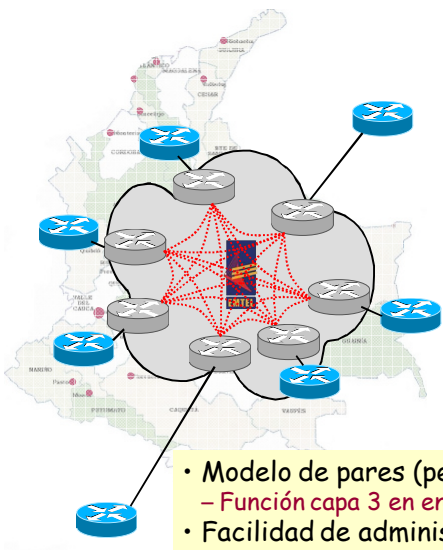
Álvaro Rendón G.


MPLS-VPN

 PVC



Departamento de Telemática

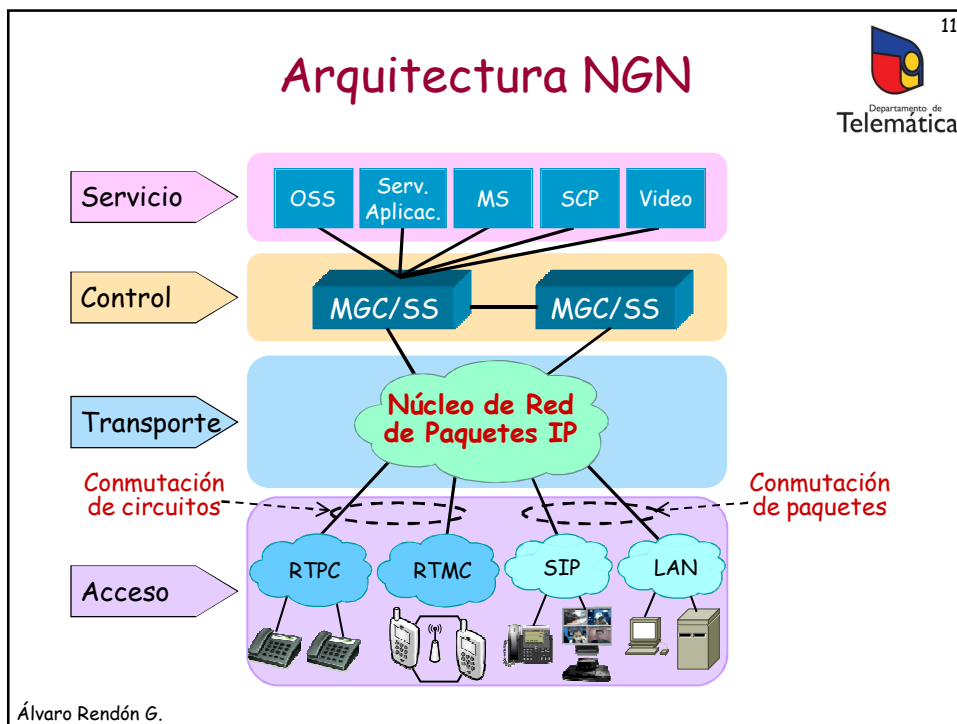




VPN: Red Privada Virtual

- Modelo de pares (peer):
 - Función capa 3 en enrutador del proveedor
- Facilidad de administración a los clientes
- Confiabilidad: enrutamiento redundante
- QoS

Álvaro Rendón G.



12


Departamento de Telemática

Generalidades MPLS

- La convergencia de voz y datos se está dando sobre la red IP
- Pero la infraestructura y protocolos de la red IP han sido optimizados sólo para datos
 - IGP (e.g. RIP y OSPF) y EGP (e.g. BGP4) no son óptimos
 - No tienen en cuenta retardo, *jitter* y congestión del tráfico
- MPLS se propone como solución a los problemas de las redes actuales: **velocidad, escalabilidad, gestión de QoS, e ingeniería de tráfico**

Álvaro Rendón G.

13


 Departamento de
Telemática


Generalidades MPLS

- MPLS es un estándar del IETF (Internet Engineering Task Force): RFC 3031
- Está basado en la "conmutación de marcas" (tag switching) de Cisco, que a su vez estaba inspirado en el esquema de "conmutación IP" (IP switching) propuesto por Ipsilon Networks (ahora, Nokia)
- "Conmutación IP" es un método para la conmutación de paquetes IP sobre redes ATM
- Originalmente se iba a usar con distintos protocolos de red: IPv4, IPv6, IPX (Novell) y Appletalk ("multiprotocolo"), pero sólo se desarrolló para IP

Álvaro Rendón G.

(Perros, 2005, Cap. 6)

14



 Departamento de
Telemática

Generalidades MPLS

- Introduce un esquema **orientado a conexión** en una red IP normalmente no orientada a conexión
 - Evita las búsquedas en la tabla de enrutamiento durante la transferencia, intensivas en consumo de CPU (luego se desarrollaron algoritmos eficientes)
 - **Puede ser usado para introducir QoS en la red IP**
- **Unifica el transporte de información** para las redes de conmutación de paquetes y las de conmutación de circuitos

Álvaro Rendón G.

(Perros, 2005, Cap. 6)




 Departamento de Telemática

Temario

- **Introducción**
- **Arquitectura**
 - Enrutadores IP
 - Etiquetas MPLS
 - Red MPLS
 - Establecimiento de caminos (LSP)
 - Funcionamiento de la red
 - Apilamiento de etiquetas
- **Protocolos de distribución de etiquetas**

Álvaro Rendón G.



 Departamento de Telemática

Enrutadores IP

Componente de Reenvío:

- Extrae de la cabecera del paquete la dirección IP de destino
- Usa el algoritmo de la concordancia más larga (*longest match*) para encontrar una entrada (**prefijo**) en la Tabla de Enrutamiento que corresponda a la dirección IP de destino
- Obtiene de la Tabla de Enrutamiento el puerto (interfaz) de salida al que debe enviar el paquete

154.125.16.2

Paquetes →

Control

FIB

↕


Reenvío

→ Paquetes

Destino	Interfaz
62.0.0.0	FastEthernet0/0
200.80.2.0	FastEthernet1/0
154.125.16.0	FastEthernet0/0

FIB: Tabla de Enrutamiento

Álvaro Rendón G.



17
 Departamento de
 Telemática

Enrutadores IP

Clase de Equivalencia de Reenvío (Forwarding Equivalence Class: FEC)

- FEC: Conjunto de las direcciones IP que corresponden al mismo **prefijo**
- Los paquetes IP que pertenecen a la misma FEC (sus direcciones tienen el mismo prefijo) tienen el mismo puerto (interfaz) de salida
- En MPLS, la FEC se codifica en un identificador de tamaño fijo denominado **Etiqueta (Label)**
- A los paquetes IP que pertenecen a la misma FEC se les asigna la misma etiqueta

Álvaro Rendón G.


18
 Departamento de
 Telemática


Etiquetas

- En una red IP, la asignación de un paquete a una FEC se hace en cada enrutador buscando su dirección en la tabla de enrutamiento
- En MPLS, la asignación se hace **una sola vez** durante la transferencia: cuando el paquete entra a la red
- La etiqueta tiene validez local para cada salto. **En cada enrutador hay un cambio de etiqueta**
- Dentro de la red no es necesario analizar la cabecera del paquete. En cada enrutador la etiqueta es usada como un índice en una tabla (LFIB) que indica el próximo salto y la nueva etiqueta
- Las tablas de enrutamiento de etiquetas (LFIB) han sido configuradas mediante **protocolos de distribución de etiquetas**

Álvaro Rendón G. LFIB: Label Forward Information Base (Rosen et al., 2001, 2.1)

19

Etiquetas


 Departamento de
 Telemática


Ventajas del reenvío basado en etiquetas:

- Puede ser hecho por conmutadores de baja capacidad
- La asignación del FEC puede hacerse con base en cualquier información disponible sobre el paquete, **incluso si no está en la cabecera**, e.g. el puerto de origen o el enrutador de entrada
- Los criterios para asignar el FEC pueden llegar a ser muy complejos sin afectar los enrutadores
- La etiqueta puede ser usada para indicar la ruta que debe seguir el paquete, cuando ésta debe ser determinada a priori por razones de **política o ingeniería de tráfico**

Álvaro Rendón G. (Rosen et al., 2001, 2.1)

20

Etiquetas


 Departamento de
 Telemática

Algunos enrutadores IP analizan la cabecera del paquete no sólo para elegir el próximo salto sino también para determinar su prioridad o clase de servicio


En MPLS se puede determinar la prioridad o clase de servicio del paquete por su etiqueta

En ese caso, la etiqueta representa una combinación:

- **FEC (enrutamiento)**
- **Prioridad o clase de servicio (CoS)**

Álvaro Rendón G. (Rosen et al., 2001, 2.1)

21


Departamento de
Telemática

Etiquetas


Asignación de etiquetas

En general, se pueden aplicar los siguientes criterios:

- Dirección IP de origen o destino
- Número del puerto TCP/UDP de origen o destino
- Campo protocolo del paquete IP (TCP, UDP, ICMP, etc.)
- Calidad de Servicio (QoS), e.g. usando del modelo de Servicios Diferenciados (DiffServ)
- Ingeniería de tráfico (e.g. para balanceo de cargas)
- Virtual Private Networks (VPN)

Álvaro Rendón G.

22


Departamento de
Telemática

Encapsulamiento de la etiqueta

- En IPv6 la etiqueta viaja en la **Etiqueta de flujo**
- En IPv4 no hay espacio en la cabecera...

Paquete IPv4

Cabecera IP	Ver.	LC	Tipo Serv.	Longitud total	
	Identificador		Ban.	Despl. de Frag.	
	TTL	Protocolo		Suma chequeo cab.	
	Dirección IP de origen				
	Dirección IP de destino				
	Opciones y relleno				
Segmento (TCP)/ Datagrama (UDP)					

Paquete IPv6

Cabecera IP	Ver.	C. Tráfico	Etiqueta de flujo		
	Longitud carga útil		Cab. Sig.	Lím. saltos	
	Dirección IP de origen				
	Dirección IP de destino				
	Cabeceras de extensión				
	Segmento (TCP)/ Datagrama (UDP)				

Álvaro

23

Departamento de Telemática

Encapsulamiento de la etiqueta

En IPv4 sobre Ethernet y PPP*, la etiqueta se inserta entre la cabecera LLC y la cabecera IP:
Cuña de cabecera (shim header)

*Point-to-Point Protocol

Álvaro Rendón G.

24

Departamento de Telemática

Encapsulamiento de la etiqueta

En IPv4 sobre Ethernet y PPP*, la etiqueta se inserta entre la cabecera LLC y la cabecera IP:
Cuña de cabecera (shim header)

*Point-to-Point Protocol

Álvaro Rendón G.

25

Encapsulamiento de la etiqueta

Departamento de Telemática

En IP sobre ATM la etiqueta viaja en el campo VPI/VCI

Álvaro Rendón G.

26

Encapsulamiento de la etiqueta

Departamento de Telemática

En IP sobre ATM la etiqueta viaja en el campo VPI/VCI

(VPI: 12 bits, VCI: 16 bits)

Álvaro Rendón G.

27

Encapsulamiento de la etiqueta

Departamento de Telemática

En IP sobre Frame Relay la etiqueta viaja en el campo DLCI

Álvaro Rendón G.

28

Encapsulamiento de la etiqueta

Departamento de Telemática

En IP sobre Frame Relay la etiqueta viaja en el campo DLCI

(DLCI: : 10, 16, 23 bits)

Álvaro Rendón G.

29

Departamento de Telemática

MPLS en el modelo OSI

Modelo OSI

Transporte TCP

Red IP

2,5 MPLS

Enlace Ethernet (802.3) ATM LAPP

Física Física I.43x

- Utiliza los protocolos de enrutamiento de IP
- Es transportado por múltiples protocolos de enlace
- No corresponde al modelo de referencia OSI

Álvaro Rendón G.

30

Departamento de Telemática

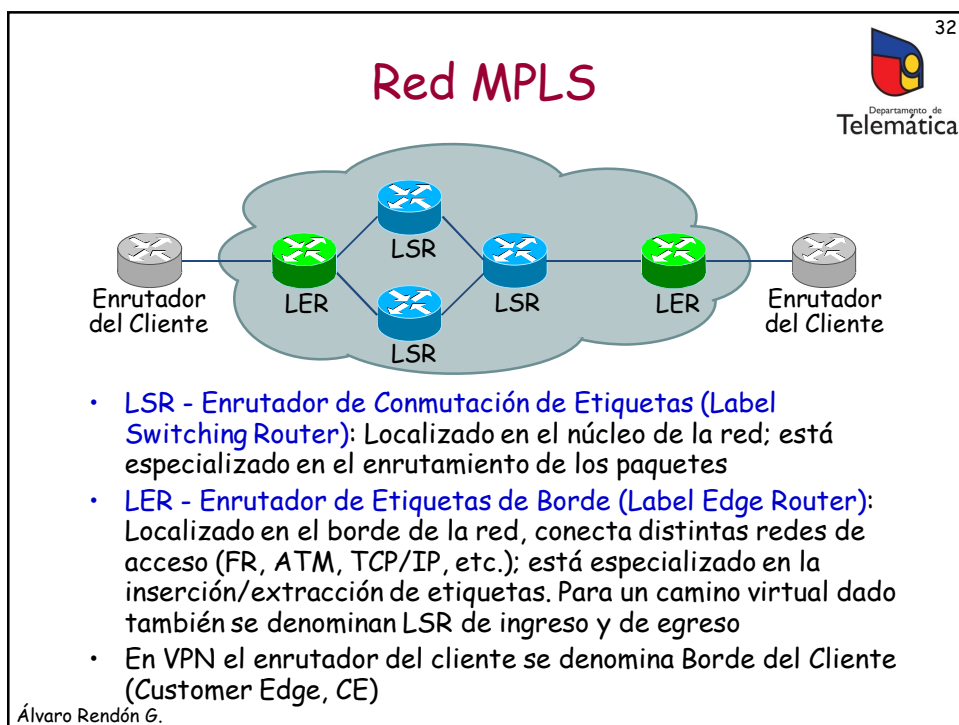
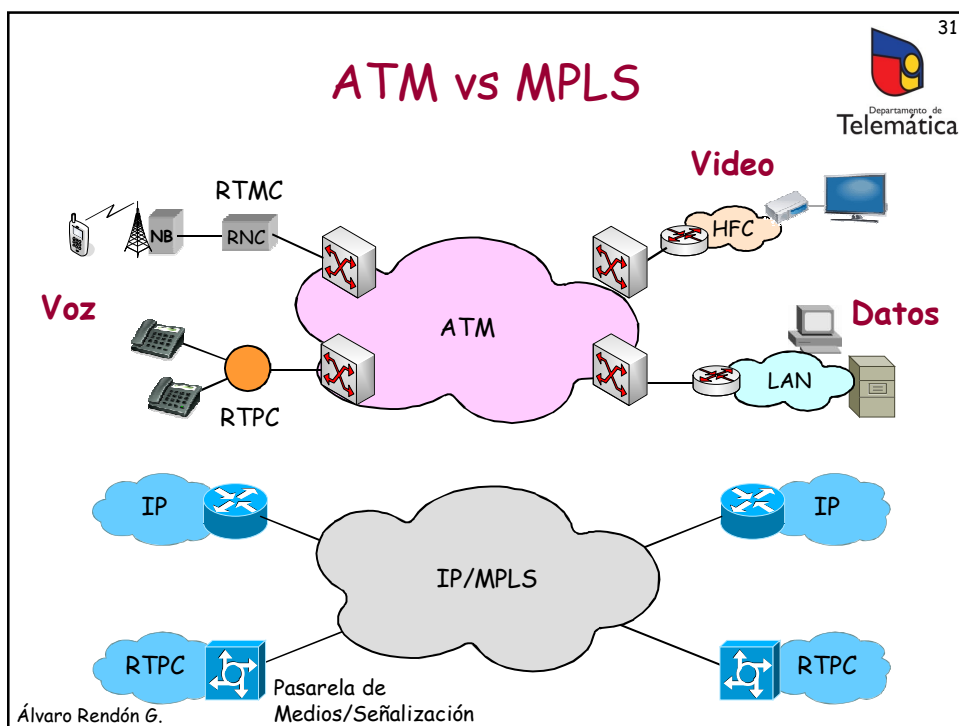
Formato de la Etiqueta

← Etiqueta Exp S TTL 32 bits

(PBT) 20 bits 3 1 8

- **Etiqueta:** Valor de la etiqueta (0-15 reservados)
- **Experimental (Exp):** Puede transportar la indicación de Clase de Servicio (CoS)
- **Pila (Stack):** Indicación de fondo de pila
- **Tiempo de vida (TTL, time-to-live):** Número máximo de enrutadores por los que puede pasar un paquete

Álvaro Rendón G.



33

Departamento de Telemática

Red MPLS

- **LSP - Camino Conmutado de Etiquetas (Label Switched Path):** Es el camino virtual que siguen los paquetes de una misma conexión. Tiene asignada una etiqueta en cada salto. Se establece mediante protocolos de enrutamiento o en forma manual
- **LSR de ingreso:** Inserta en los paquetes la etiqueta inicial
- **LSR de tránsito:** Conmuta las etiquetas y reenvía los paquetes
- **LSR de egreso:** Extrae la etiqueta final de los paquetes y los entrega a la red correspondiente

Los LSP son unidireccionales

Álvaro Rendón G.

34

Departamento de Telemática

Establecimiento de caminos (LSP)

- El establecimiento de los caminos (LSP) en la red MPLS requiere dos procedimientos:
 - **Asignación de etiquetas:** Cada LSR determina el siguiente salto para un FEC, y le asigna una etiqueta
 - **Distribución de etiquetas:** El LSR informa a otros LSR de las etiquetas asignadas

Álvaro Rendón G.

35

Departamento de Telemática

Establecimiento de caminos (LSP)

- Procedimientos para determinar el siguiente salto:
 - **Manual:** Las tablas de enrutamiento son configuradas por un administrador de la red
 - **Tradicional:** Se utilizan los protocolos de enrutamiento habituales de IP: e.g. OSPF, RIP
 - **Ingeniería de Tráfico:** Se eligen los todos los saltos de un camino completo, con base en criterios como el tráfico y los recursos disponibles: e.g. RSVP-TE, CR-LDP
Sus protocolos incluyen los procedimientos de distribución

Álvaro Rendón G.

36

Departamento de Telemática

Establecimiento de caminos (LSP)

Enrutamiento: Dado un FEC (e.g. destino), cada LSR le asigna una etiqueta, la registra en su tabla de enrutamiento de etiquetas (entrada), y la distribuye a los LSR vecinos
Los LSR en sentido opuesto al flujo de datos registran la etiqueta en su tabla de enrutamiento de etiquetas (salida)

Destino	Etq S	Int S
172.191.0.0	45	if0

Destino	Etq E	Int S
172.191.0.0	45	if1

Etq E: Etiqueta de Entrada
Etq S: Etiqueta de Salida
Int S: Interfaz de Salida

Álvaro Rendón G.

37

Departamento de Telemática

Establecimiento de caminos (LSP)

- Las etiquetas asignadas a un mismo FEC constituyen un **árbol de LSP**: varios LSP asociados al mismo FEC

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 6)

38

Departamento de Telemática

Enrutamiento

Para establecer un LSP, dos opciones de enrutamiento:

- Salto por salto (*hop-by-hop routing*)
- Explícito (*explicit routing*)

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 6)

39

Departamento de Telemática

Enrutamiento

- **Enrutamiento salto por salto (*hop-by-hop routing*)**
Cada LSR elige el siguiente salto en forma independiente, como en las redes IP existentes
La información para seleccionar el siguiente salto es provista típicamente por protocolos de enrutamiento como OSPF, BGP, etc.

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 6)

40

Departamento de Telemática

Enrutamiento

- **Enrutamiento explícito (*explicit routing*):**
El LSR de ingreso define la ruta completa para los paquetes de un FEC (ER-LSP) y elabora una lista de los LSR que esta cruza.
La ruta puede ser distinta a la que recomiendan los protocolos de enrutamiento
Cada LSR determina el siguiente salto basado en esta ruta

Álvaro Rendón G. ER-LSP: Explicitly Routed LSP (Perros, 2005, Cap. 6)

41

Departamento de Telemática

Distribución de Etiquetas

Destino	Etiqu S	Int S
172.191.0.0	45	if0

Destino	Etiqu E	Int S
172.191.0.0	45	if1

Una vez asignadas las etiquetas, se distribuyen mediante un mecanismo de señalización o protocolo de distribución de etiquetas

Dos opciones:

- No solicitada en el sentido del flujo de datos (*unsolicited downstream*)
- Bajo demanda en el sentido del flujo de datos (*downstream on demand*)

Etiqu E: Etiqueta de Entrada
Etiqu S: Etiqueta de Salida
Int S: Interfaz de Salida

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 6)

42

Departamento de Telemática

Distribución de Etiquetas

Destino	Etiqu S	Int S
172.191.0.0	45	if0

Destino	Etiqu E	Int S
172.191.0.0	45	if1

- **No solicitada en el sentido del flujo de datos (*unsolicited downstream*):** LSR distribuye la asignación de etiquetas a sus vecinos inmediatos. Un LSR localizado en el sentido opuesto al flujo de datos (*upstream*) registra la etiqueta en su LFIB. Los otros LSR pueden ignorarla o guardarla para uso futuro (e.g. cambios en la topología de la red)

Álvaro Rendón G. LFIB: Label Forward Information Base (Perros, 2005, Cap. 6)

43

Departamento de Telemática

Distribución de Etiquetas

Destino	Etiqu S	Int S
172.191.0.0	45	if0

Destino	Etiqu E	Int S
172.191.0.0	45	if1

- **Bajo demanda en el sentido del flujo de datos (downstream on demand):** Un LSR localizado en el sentido opuesto al flujo de datos solicita la asignación de etiqueta para un FEC, al LSR localizado en el sentido del flujo de datos

En este esquema, el LSR localizado en el extremo del sentido del flujo de datos hace la asociación, pero no la distribuye hasta que se lo solicita en forma explícita un LSR localizado en el sentido contrario al flujo de datos

(Perros, 2005, Cap. 6)

44

Departamento de Telemática

Operaciones sobre las etiquetas

Destino	Int S	Etiqu S
172.191.0.0	if1	62

Etiqu E	Int S	Etiqu S
62	if0	45

Etiqu E	Int S	Etiqu S
45	if1	60


Etiqu E	Int S	Etiqu S
60	if0	-

Los LSR de ingreso (LSR A) examinan las cabeceras IP, asocian los paquetes a los FEC e insertan las etiquetas

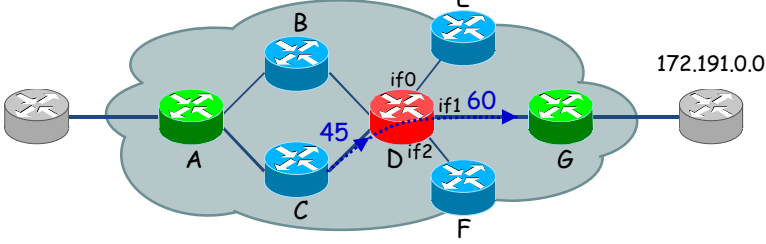
Los LSR de tránsito (LSR C y D) conmutan las etiquetas

Los LSR de egreso (LSR G) extraen la etiqueta

Álvaro Rendón G.


45
 Departamento de Telemática

Conmutación de Etiquetas




LSR D:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
130	if0	45
20	if1	30
45	if1	60
95	if2	120

Etiqu E: Etiqueta de Entrada
 Etiqu S: Etiqueta de Salida
 Int S: Interfaz de Salida

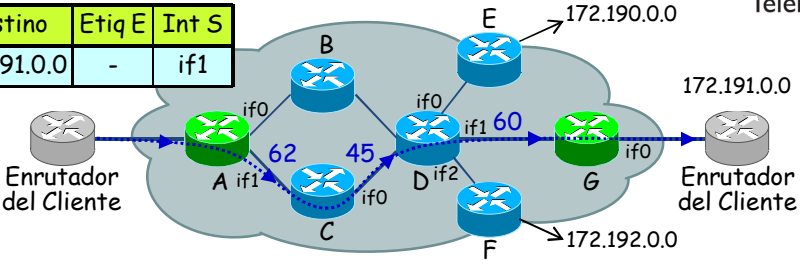
Tabla de Enrutamiento de Etiquetas
LFIB: Label Forward Information Base


46
 Departamento de Telemática

Funcionamiento de la red

LSR A:

Destino	Etiqu E	Int S
172.191.0.0	-	if1



LSR G:

Destino	Etiqu E	Int S
172.191.0.0	60	if0

LSR C:

Destino	Etiqu E	Int S
172.191.0.0	62	if0

LSR D:

Destino	Etiqu E	Int S
172.191.0.0	45	if1

LSR G:

Destino	Etiqu E	Int S
172.191.0.0	60	if0

1. Establecimiento de rutas y asignación de etiquetas
 - Antes de transferir los paquetes
 - Cada LSR elige el siguiente salto para una FEC y le asigna una etiqueta (enrutamiento salto por salto o explícito)

Álvaro Rendón G.

47

Departamento de Telemática

Funcionamiento de la red

LSR A:

Destino	Int S	Etiqu S
172.191.0.0	if1	62

LSR C:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
62	if0	45

LSR D:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
45	if1	60

LSR G:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
60	if0	-

2. Distribución de etiquetas y creación de tablas

Cada LSR distribuye las etiquetas asignadas (distribución no solicitada o bajo demanda)

El LSR localizado en el sentido opuesto al flujo de datos registra la etiqueta en su LFIB

Álvaro Rendón G.

48

Departamento de Telemática

Funcionamiento de la red

LSR A:

Destino	Int S	Etiqu S
172.191.0.0	if1	62

LSR C:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
62	if0	45

LSR D:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
45	if1	60

LSR G:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
60	if0	-

3. Recepción del paquete e inserción de etiqueta

El LSR de ingreso recibe el paquete, examina su cabecera IP, lo asocia a una FEC (172.191.0.0), le inserta la etiqueta de salida (62) y lo reenvía a la interfaz de salida (if1)

Álvaro Rendón G.

49

Departamento de Telemática

Funcionamiento de la red

LSR A:

Destino	Int S	Etiqu S
172.191.0.0	if1	62

Enrutador del Cliente

Enrutador del Cliente

LSR C:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
62	if0	45

LSR D:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
45	if1	60

LSR G:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
60	if0	-

4. Conmutación de etiqueta y reenvío del paquete

Los LSR internos examinan la etiqueta del paquete recibido y la buscan en su LFIB, la reemplazan con la etiqueta de salida y reenvían el paquete a la interfaz de salida

Álvaro Rendón G.

50

Departamento de Telemática

Funcionamiento de la red

LSR A:

Destino	Int S	Etiqu S
172.191.0.0	if1	62

Enrutador del Cliente

Enrutador del Cliente

LSR C:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
62	if0	45

LSR D:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
45	if1	60

LSR G:

Etiqu E	Int S	Etiqu S
60	if0	-

5. Extracción de etiqueta y entrega del paquete

El LSR de egreso examina la etiqueta del paquete recibido y la busca en su LFIB, extrae la etiqueta porque el paquete sale de la red MPLS, y entrega el paquete al enrutador del cliente

Álvaro Rendón G.

51

Departamento de Telemática

Apilamiento de etiquetas

Cabecera Nivel 2	Cabecera MPLS 3 S=0	Cabecera MPLS 2 S=0	Cabecera MPLS 1 S=1	Cabecera IP	Datos
------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-------------	-------

← LIFO (Last Input First Output) S: Fondo de la pila (*stack*)

- MPLS permite transportar en los paquetes un conjunto de etiquetas organizadas como una pila
- Cuando un paquete se entrega a un nuevo dominio MPLS, se le agrega una nueva etiqueta en el tope de la pila
- La nueva etiqueta es usada para iniciar el recorrido del LSP en el nuevo dominio MPLS
- El LSR de egreso del nuevo dominio extrae la etiqueta del tope de la pila, y entrega el paquete al próximo dominio MPLS

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 6)

52

Departamento de Telemática

Apilamiento de etiquetas

Dominio MPLS A Dominio MPLS B Dominio MPLS C

Pila de etiquetas	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">60</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">70</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">22</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">54</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">70</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">66</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">70</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">70</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">30</div>
-------------------	--------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nivel 1 ← Nivel 2 → Nivel 1

LSR2: Reemplaza etiqueta Apila nueva etiqueta
 LSR3 - LSR6: Reemplazan etiquetas
 LSR7: Extrae etiqueta de la pila
 LSR8: Reemplaza etiqueta

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 6)

53

Departamento de Telemática

Apilamiento de etiquetas

Dominio MPLS A Dominio MPLS B Dominio MPLS C

- Las etiquetas en el dominio MPLS B forman un túnel
- Al final del túnel, el LSR de egreso puede saber adónde reenviar el paquete
- Esto se resuelve con facilidad usando la pila
- La pila de etiquetas permite la implementación de aplicaciones como **Redes Privadas Virtuales (VPN)** e **Ingeniería de Tráfico (TE)**

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 6)

54


Departamento de Telemática

Temario

- **Introducción**
- **Arquitectura**
- **Protocolos de distribución de etiquetas**
 - LDP
 - RSVP-TE

Álvaro Rendón G.

55


Departamento de
Telemática

Protocolos (de señalización)

- MPLS requiere un conjunto de procedimientos (**protocolo**) para distribuir en forma confiable entre los LSR la asignación de las etiquetas
- Es posible usar varios protocolos al tiempo
- Entre los más importantes propuestos:
 - LDP: Label Distribution Protocol
 - CR-LDP: Constrained-based Routing LDP
 - RSVP: Resource Reservation Protocol
 - RSVP-TE: RSVP Traffic engineering
- LDP y CR-LDP fueron creados para MPLS
- También se han extendido protocolos existentes como BGP, PIM y RSVP.
- Los más populares: **LDP y RSVP-TE**

Álvaro Rendón G. PIM: Protocol.Independent Multicast, BGP: Border Gateway Protocol

56


Departamento de
Telemática

Label Distribution Protocol (LDP)

- Usado para establecer y mantener las asignaciones de etiquetas para un camino (LSP) asociado con un FEC.
- La asignación de etiquetas se realiza salto a salto
- **Pares LDP (LDP peers)**: Dos LSR que usan una **sesión LDP** para intercambiar asignaciones de etiquetas. Pueden o no ser adyacentes.
- Cuatro categorías de mensajes:
 - **Descubrimiento (discovery)**: Anunciar y mantener la presencia de un LSR en la red
 - **Sesión (session) o Adyacencia (adjacency)**: Establecer, mantener y terminar una sesión LDP.
 - **Anuncio (advertisement)**: Crear, cambiar y borrar asignaciones de etiquetas para un FEC.
 - **Notificación (notification)**: Informar sobre un error o suministrar recomendaciones.

Álvaro Rendón G.

57

LDP se soporta en TCP y UDP

Departamento de Telemática

- Una sesión LDP opera sobre TCP para garantizar confiabilidad
- Hay una sesión TCP para cada sesión LDP
- Los mensajes de descubrimiento (Hello) operan sobre UDP

```

graph TD
    LDP[LDP] --> TCP[TCP]
    LDP -.-> UDP[UDP]
    TCP --> IP[IP]
    UDP --> IP
  
```

Álvaro Rendón G.

58


Mensajes LDP

Departamento de Telemática

Categoría	Tipo	Nombre
Notificación	0x001	Notification
Descubrimiento	0x100	Hello
Sesión o adyacencia	0x200	Initialization
	0x201	Keep Alive
	0x300	Address
	0x301	Address withdraw
Anuncio	0x400	Label mapping
	0x401	Label request
	0x402	Label withdraw
	0x403	Label release
	0x404	Label abort request

Álvaro Rendón G.

59


Departamento de
Telemática

Mensajes LDP (ejemplos)

Mensaje de Descubrimiento:

- **Hello:** Se envía a todos los LSR sobre UDP en forma periódica, para anunciar la presencia del LSR emisor

Mensajes de Sesión o Adyacencia:

- **Initialization:** Inicio de la sesión LDP
- **Keep Alive:** Mantiene activa la sesión

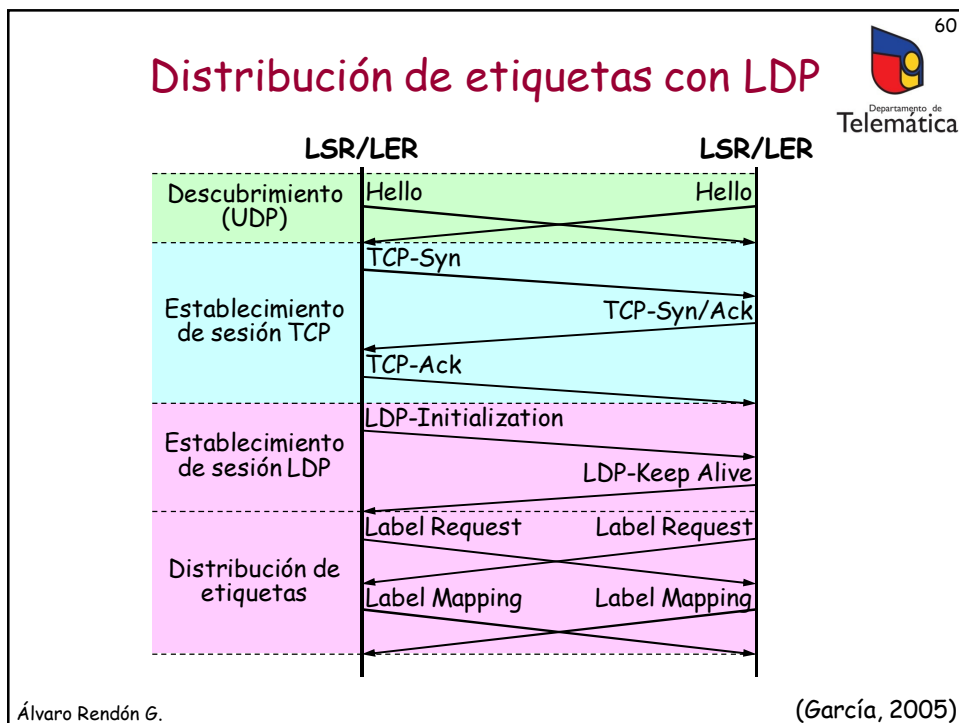
Mensajes de Anuncio:

- **Label request:** Solicitud de la etiqueta para un FEC
- **Label mapping:** Envío de la etiqueta para un FEC

Mensaje de Notificación:

- **Notification:** Indica errores o suministra recomendaciones sobre el estado de la sesión

Álvaro Rendón G.



RSVP Traffic Engineering (RSVP-TE)



61

- Es una extensión para MPLS del protocolo RSVP (Resource Reservation Protocol)
- Antes de estudiar RSVP-TE es necesario conocer RSVP
- RSVP fue diseñado para brindar soporte a la arquitectura de Servicios Integrados **Intserv**
- Intserv fue desarrollada por el IETF (RFC 2205) a mediados de los 90 para introducir **QoS** en las redes IP (requerido por los **servicios multimedia**)
- Intserv nunca tuvo aceptación amplia y fue reemplazada por la arquitectura de Servicios Diferenciados **DiffServ** que sí tuvo éxito

Álvaro Rendón G.

(Perros, 2005, Cap. 7)

Resource Reservation Protocol



62

- Es un protocolo de señalización usado para el establecimiento y mantenimiento confiable de **reserva de recursos** para aplicaciones de unidifusión y de multidifusión muchos a muchos
- Puede ser usado para transportar otros tipos de información de control ya que no conoce el contenido de los campos del protocolo
- Esto ha sido aprovechado para proponer su uso en MPLS

Álvaro Rendón G.

(Perros, 2005, Cap. 7)

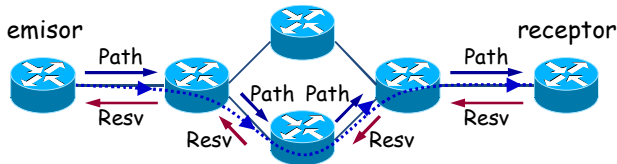
63

Departamento de Telemática

Mensajes RSVP

RSVP usa dos mensajes principales:

- **Path:** Recorre el camino desde el emisor hasta el receptor
- **Resv:** Es el mensaje con el que el receptor responde a Path. Recorre el camino inverso al de Path, y reserva ancho de banda en cada uno de los enrutadores a lo largo del camino



El mensaje **PathErr** es la respuesta negativa

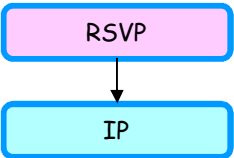
Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 7)

64

Departamento de Telemática

Mensajes RSVP

- Los mensajes RSVP son enviados en **datagramas IP** en bruto, sin encapsulamiento de TCP o UDP (se permite encapsulamiento en UDP para enrutadores que no dan soporte a datagramas)
- RSVP es **simplex**, o sea que hace las reservaciones para un flujo de datos unidireccional que sigue el camino especificado.
- Con el fin de comunicar a dos usuarios A y B en ambos sentidos, deben establecerse dos sesiones separadas, una para cada sentido (A->B y B->A)



Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 7)

65




Departamento de
Telemática

Estado flexible (*soft state*)

- RSVP utiliza el enfoque de **estado flexible**. Esto significa que la información del estado de la reserva en cada enrutador debe ser refrescada en forma periódica por mensajes Path y Resv
- Esto le permite **adaptarse** a cambios en la topología de la red
- Además, dado que opera sobre IP, que no garantiza la entrega de los paquetes, el enfoque de estado flexible suministra la **confiabilidad** necesaria en la entrega de los mensajes RSVP.

Álvaro Rendón G.
(Perros, 2005, Cap. 7)

66




Departamento de
Telemática

RSVP Traffic Engineering

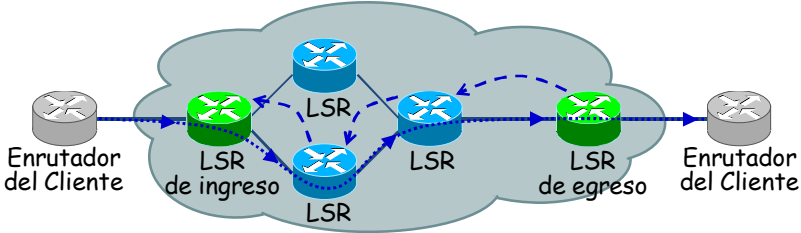
- RSVP-TE realiza señalización y distribución de etiquetas extremo a extremo
- Para establecer un camino (LSP), RSVP-TE utiliza la distribución de etiquetas bajo demanda en el sentido del flujo de datos (*downstream-on-demand*), con control ordenado
- Esto lo implementa usando los mensajes Path y Resv aumentados con nuevos objetos
- El LSP puede ser establecido de dos maneras:
 - Usando la información de próximo salto en la tabla de enrutamiento de cada LSR
 - Usando una ruta explícita definida por el LER de ingreso, que establece todos los saltos que debe seguir el camino

Álvaro Rendón G.
(Perros, 2005, Cap. 7)

RSVP Traffic Engineering



67
Departamento de Telemática




Los LSP se forman desde el **destino** hacia el **origen** del flujo de datos

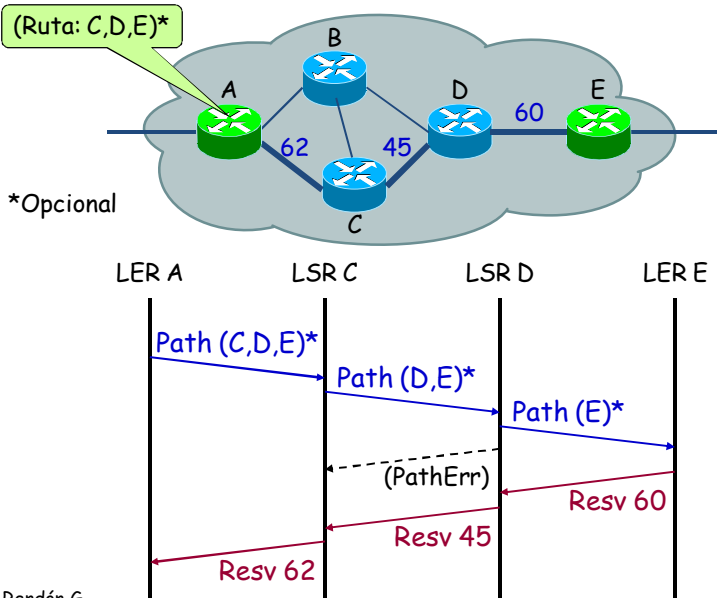
- El LSR de ingreso envía la petición de etiquetas para crear un LSP: mensaje **Path**
- La petición llega finalmente al LSR de egreso, que responde con un mensaje de asociación de etiquetas: mensaje **Resv**
- Se forma el LSP desde el LER de egreso hasta el LER de ingreso

Álvaro Rendón G.

RSVP Traffic Engineering



68
Departamento de Telemática



(Ruta: C,D,E)*

*Opcional

LER A LSR C LSR D LER E

Path (C,D,E)*
Path (D,E)*
Path (E)*
(PathErr)
Resv 60
Resv 45
Resv 62

Álvaro Rendón G.

69

Establecimiento de un LSP

Departamento de Telemática

1 - LER de ingreso:

- El LER de ingreso envía un mensaje **Path** con una solicitud de asignación de etiquetas para el LSP
- Si se requiere una ruta explícita, ésta va incluida en el mensaje Path
- El LER de ingreso establece el camino combinando información de topología y recursos de red con requisitos de QoS

(Ruta: C,D,E)*

*Opcional

Path (C,D,E)*

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 7)

70

Establecimiento de un LSP

Departamento de Telemática

2 - LSR de tránsito:

- El mensaje Path es reenviado al siguiente salto indicado en:
 - La tabla de enrutamiento del LSR, para la dirección IP del LER de egreso, o
 - La ruta explícita enviada por el LER de ingreso
- Un LSR incapaz de aceptar el nuevo LSP solicitado (e.g. no dispone de los recursos requeridos) envía hacia atrás un mensaje PathErr

*Opcional

Path (E)*

Path (D,E)*

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 7)

71

Establecimiento de un LSP

Departamento de Telemática

3 - LER de egreso:

- El LER de egreso asigna una etiqueta al LSP, reserva recursos si han sido solicitados, y responde con un mensaje **Resv**
- El mensaje Resv transporta la etiqueta asignada

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 7)

72

Establecimiento de un LSP

Departamento de Telemática

4 - Yendo en sentido contrario al flujo de datos

- Cada LSR que recibe el mensaje Resv con la etiqueta, la registra para el tráfico saliente asociado al LSP
- El LSR asigna una nueva etiqueta, reserva recursos si han sido solicitados, y envía el mensaje Resv con la etiqueta al LSR del salto precedente
- El LSP queda establecido cuando el LER de ingreso recibe el mensaje Resv

Álvaro Rendón G. (Perros, 2005, Cap. 7)

Reserva de recursos

- RSVP-TE permite la reserva de ancho de banda a lo largo del LSP usando reservaciones RSVP estándar junto con clases de servicio Intserv
- La reserva de recursos es opcional, de modo que los LSP pueden ser establecidos sin reservar ningún recurso
- Los LSP sin reserva de recursos pueden ser usados, por ejemplo, para transportar tráfico de la clase "mejor esfuerzo" (*best effort*)* y para implementar caminos de respaldo.

*Es el tráfico que no pertenece a la clase de tráfico "sensible" (*sensitive traffic*), para la que se garantiza QoS

Glosario

- **BGP**. Border Gateway Protocol
- **CoS**. Class of Service
- **LDP**. Label Distribution Protocol
- **LER**. Label Edge Router
- **LSP**. Label Switched Path
- **LSR**. Label Switched Router
- **FEC**. Forward Equivalence Class
- **MPLS**. MultiProtocol Label Switching
- **QoS**. Quality of Service
- **RSVP**. ReSource reserVation Protocol
- **TTL**. Time To Live
- **VPN**. Virtual Private Network

Bibliografía



75

- H. G. Perros (2005). "Connection-Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS and Optical Networks". John Wiley & Sons, Chichester, England.
- E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon (2001). "Multiprotocol Label Switching Architecture", IETF RFC 3031, January 2001.
- Trillium (2000). "MultiProtocol Label Switching (MPLS)". Web ProForum Tutorials, The International Engineering Consortium (IEC). <http://www.iec.org>.
- A. García (2005). "Redes MPLS y GMPLS" [en línea]. Unitronics Comunicaciones. Disponible en: <http://www.ccapitalia.net/?p=147> (consultado el 31 de octubre de 2010).