

**MPLS**  
**CONMUTACION DE ETIQUETAS MULTIPROTOCOLO**

**CAMILO ANDRES LLERENA**  
**KAREN VILLACOB PINEDA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
**FACULTAD DE INGENIERIAS**  
**DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C**  
**2004**

**MPLS**  
**CONMUTACION DE ETIQUETAS MULTIPROTOCOLO**

**CAMILO ANDRES LLERENA**

**KAREN VILLACOB PINEDA**

**Monografía presentada como registro de aprobación del Minor en**  
**Telecomunicaciones**

**Director**

**OSCAR ACEVEDO PATIÑO**

**Ingeniero Electrónico**

**Magíster en Ingeniería Eléctrica (C)**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C**

**2004**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Cartagena, Noviembre 29 de 2004**

Cartagena, Noviembre 29 de 2004

Señores

**COMITÉ DE REVISIÓN DE MONOGRAFÍA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

La Ciudad

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos informarles que la monografía titulada **“MPLS: CONMUTACION DE ETIQUETAS MULTIPROTOCOLO”** ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos establecidos.

Como autores del proyecto consideramos que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

---

**CAMILO ANDRES LLERENA**

Código 0004053

---

**KAREN VILLACOB PINEDA**

Código 9904526

Cartagena, Noviembre 29 de 2004

Señores

**COMITÉ DE REVISIÓN DE MONOGRAFÍA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

La Ciudad

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que la monografía titulada **“MPLS: CONMUTACION DE ETIQUETAS MULTIPROTOCOLO”** ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos establecidos.

Como director considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

---

**OSCAR ACEVEDO PATIÑO**

Ingeniero Electrónico

Magíster en Ingeniería Eléctrica (C)

## **AUTORIZACIÓN**

Cartagena de Indias D. T. y C

Diciembre 10 de 2004

Yo CAMILO ANDRES LLERENA, identificado con la cédula de ciudadanía número 73.202.221 de la ciudad de Cartagena. Autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo ON LINE de la Biblioteca.

---

CAMILO ANDRES LLERENA

## **AUTORIZACIÓN**

Cartagena de Indias D. T. y C

Diciembre 10 de 2004

Yo KAREN VILLACOB PINEDA identificado con la cédula de ciudadanía número 45.535.276 de la ciudad de Cartagena. Autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo ON LINE de la Biblioteca.

---

KAREN VILLACOB PINEDA

## **ARTICULO 105**

La Universidad Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, y no se pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

## **DEDICATORIA**

Doy gracias a Dios por permitirme cumplir con éxito todos estos años de estudio. A mi mamá, Maria Llerena, por su apoyo incondicional y esfuerzos para brindarme mis estudios. A toda mi familia, por estar conmigo en los momentos buenos y malos, dándome ánimos para seguir adelante.

**Camilo Andrés LLerena**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A nuestro director, **OSCAR ACEVEDO PATIÑO**

Al ingeniero **GONZALO LOPEZ**, por su constante colaboración y apoyo durante el desarrollo de nuestra monografía.

---

## CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	
ANEXOS	
GLOSARIO	
RESUMEN	
INTRODUCCION	1
<b>1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION</b>	<b>4</b>
<hr/>	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.2. OBJETIVOS	7
1.2.1. Objetivo General	7
1.2.2. Objetivos Específicos	7
1.3. JUSTIFICACION	8

## **2. ANTECEDENTES DE MPLS 10**

---

2.1. IP SOBRE ATM 11

2.2. CONMUTACION IP 15

## **3. CONCEPTOS Y ELEMENTOS BASICOS DE LA ARQUITECTURA MPLS 18**

---

3.1. ENVIO (Forwarding), RUTEO (Routing) y CONMUTACION (Switching) 19

3.2. LSR (Label Switching Router) y LER (Label Edge Router) 21

3.3. FEC (Forwarding Equivalence Class) 24

3.4. LSP (Label Switching Path) 25

3.4.1. Tipos de LSP 26

3.4.1.1. Ruteo Hop by Hop (Salto a Salto) 27

3.4.1.2. Ruteo Explícito 27

3.5. ETIQUETAS 28

3.5.1. Uniones a Etiquetas	31
3.5.1.1. Uniones Data – Driven	31
3.5.1.2. Uniones Control – Driven	32
<b>4. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION</b>	<b>33</b>
<hr/>	
4.1. DEFINICION DE MPLS	34
4.2. DISTRIBUCION DE ETIQUETAS	36
4.2.1. Control de Distribución de Etiquetas	37
4.2.1.1. Control Independiente	37
4.2.1.2. Control Ordenado	37
4.2.2. Esquema de Distribución de Etiquetas	38
4.2.2.1. Downstream Unsolicited (No Solicitada)	38
4.2.2.2. Downstream on Demand (Solicitada)	39
4.2.3. Retención de Etiquetas	39
4.2.3.1. Modo Conservador de Retención (Conservative Label Retention Mode)	39
4.2.3.2. Modo Liberal de Conservación (Liberal Label Retention Mode)	40
4.3. DESCRIPCION FUNCIONAL	40
4.3.1. Funcionamiento Envío de Paquetes y Tablas que lo Asisten	41

4.3.2. Control de Información	51
4.3.2.1. Mecanismos de Señalización	52
4.3.3. Operación de MPLS	53
4.4. PROTOCOLOS EN MPLS	55
4.4.1. Protocolo LDP (Label Distribution Protocol)	56
4.4.2. CR – LDP (Constraint – Based LDP)	58
4.4.3. RSVP (Resource Reservation Protocol)	60
4.4.4. TE – RSVP (Traffic Engineering – RSVP)	63
<b>5. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION</b>	<b>65</b>
<hr/>	
5.1. INGENIERIA DE TRAFICO (TE)	66
5.2. CALIDAD DE SERVICIO (QoS)	69
5.3. SOPORTE A CLASES DE SERVICIO (CoS)	72
5.4. REDES PRIVADAS VIRTUALES (VPN)	74
CONCLUSIONES	81
BIBLIOGRAFIA	84
ANEXOS	87

---

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Topología Física ATM	13
<b>Figura 2.</b> Topología Lógica IP Superpuesta	14
<b>Figura 3.</b> Separación Funcional Enrutamiento y Envío	16
<b>Figura 4.</b> Núcleo MPLS	22
<b>Figura 5.</b> Arquitectura de un LSR y un LER	23
<b>Figura 6.</b> Componentes de una Red MPLS	25
<b>Figura 7.</b> Ejemplo de un LSP	26
<b>Figura 8.</b> Tipos de Trayectos de Conmutación de Etiquetas	28
<b>Figura 9.</b> Encapsulado de la Etiqueta MPLS Genérica	29
<b>Figura 10.</b> Etiqueta MPLS Genérica	29
<b>Figura 11.</b> LSRs Upstream y Downstream	36
<b>Figura 12.</b> Unsolicited Downstream	38
<b>Figura 13.</b> Downstream on Demand	39
<b>Figura 14.</b> Esquema Funcional MPLS	41

<b>Figura 15.</b>	Separación Funcional de Control y Envío	42
<b>Figura 16.</b>	LSRs en un Dominio MPLS	43
<b>Figura 17.</b>	Detalle de una Tabla de Envío de un LSR	44
<b>Figura 18.</b>	Trayectoria de LSRs con Tabla NHLFE	47
<b>Figura 19.</b>	Flujo de Datos en Dirección del Mecanismo de Petición	47
<b>Figura 20.</b>	Tabla de Enrutamiento	48
<b>Figura 21.</b>	Mecanismo de Señalización MPLs	52
<b>Figura 22.</b>	Funcionamiento de un Red MPLS	54
<b>Figura 23.</b>	Ejemplo de un LSP estricta, enrutada por un CR – LDP	59
<b>Figura 24.</b>	Ejemplo de un LSP enrutada por TE – RSVP	64
<b>Figura 25.</b>	Comparación entre Camino más Corto IGP con Ingeniería de Tráfico	67
<b>Figura 26.</b>	Modelo Superpuesto (Túneles IPsec o PVCs)	77
<b>Figura 27.</b>	Modelo Acoplado	77

---

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Especificación técnica de equipos usados en una red MPLS
- Anexo B.** Ejemplo de Tunneling en MPLS
- Anexo C.** Resumen Mensajes Protocolo LDP

**ACRONIMOS**

**CoS** *Class of Service*

**DLCI** *Data Link Connection Identifier*

**DSCP** *Diffserv Code Point*

**EGP** *Exterior Gateway Protocol*

**ILM** *Incoming Label Map*

**IPX** *Internet Packet Exchange*

**ISP** *Internet Service Provider*

**LIB** *Label Information Base*

**NHLFE** *Next Hop Label Forwarding Entry*

**OSPF** *Open Shortest Match First*

**PBR** *Policy Based Routing*

**PDU** *Protocol Data Unit*

**PHB** *Per Hop Behavior*

**PQ** *Priority Queuing*

**RIP** *Routing Information Protocol*

**SLA** *Service Level Agreements*

**SNA** *System Network Architecture*

**ToS** *Type of Service*

**VCI** *Virtual Circuit Identifier*

**WPQ** *Weighted Priority Queuing*

**WRR** *Weighted Round Robin*

## **TERMINOS**

**ATM:** Asynchronous Transfer Mode. Modo de Transferencia Asíncrona. Es una tecnología de alto desempeño, orientada a conmutación de celdas y con tecnología de multiplexaje. Esta usa paquetes de tamaño fijo para llevar diferentes tipos de tráfico.

**BackBone:** Conexión de alta velocidad dentro una red que interconecta los principales sitios de la Internet.

**BGP:** Border Gateway Protocol. Protocolo de Intercambio de Borde. Es un protocolo para el intercambio de información de enrutamiento entre dos host gateways (cada uno con su enrutador) en una red de sistemas autónomos.

**Capa 2 o de Enlace de Datos:** Capa 2 del modelo de referencia OSI. Proporciona tránsito confiable de datos a través de un enlace físico. Se ocupa del direccionamiento físico, topología de red, disciplina de línea, detección y notificación de errores, entrega ordenada de las tramas y del control de flujo. A veces se le denomina simplemente Capa de Enlace. A este nivel se manejan las direcciones MAC.

**Capa 3 o de Red:** Capa 3 del modelo de referencia OSI. Esta capa proporciona conectividad y selección de rutas entre dos sistemas finales. La capa de red es en la que se produce el enrutamiento. A este nivel se manejan las direcciones IP.

**Etiqueta:** Es un identificador corto, de longitud fija y con significado local empleado para identificar un FEC.

**FEC:** Forwarding Equivalence Class. Clase de Equivalencia de Reenvío. Clase que define un conjunto de paquetes que se envían sobre el mismo camino a través de una red, aun cuando sus destinos finales sean diferentes.

**FRAME RELAY:** Intercambio de Tramas. Una técnica de transmisión extremadamente eficiente, usada para mandar información digital como voz,

datos, tráfico de redes de área local (LAN), y tráfico de redes de gran área (WAN) a muchos puntos desde una solo puerto de manera muy rápida.

**IETF:** Internet Engineering Task Force. Grupo voluntario que investiga y resuelve problemas técnicos.

**IGP:** Interior Gateway Protocol. Protocolo de Intercambio Interior. Es un protocolo para el intercambio de información de enrutamiento entre gateways (routers o host) adentro de una red autónoma.

**IP:** Internet Protocol. Protocolo De Internet. Se puede considerar el más importante de los protocolos que sobre los cuales se basa la Internet.

**IPsec:** Internet Protocol Security. Protocolo de Internet Seguro. Es un panel de trabajo para un conjunto de protocolos para proveer seguridad en la capa de procesamiento de paquetes de la red.

**LAN:** Local Área Network. Red De Área Local. Un tipo de arreglo para comunicación de datos a alta velocidad. Red limitada en el espacio, concebida para abastecer a sub-unidades organizativas.

**LDP:** Label Distribution Protocol. Protocolo de Distribución de Etiquetas. Es un protocolo para el intercambio y distribución de etiquetas entre los LSR de una red MPLS.

**LSP:** Label Switched Path. Camino de Intercambio de Etiquetas. Es una ruta a través de uno o más LSRs en un nivel de jerarquía que sigue un paquete de un FEC en particular.

**LSR:** Label Switching Router. Enrutador de Intercambio de Etiquetas. Es un enrutador de alta velocidad especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS.

**MPLS:** Multi-Protocol Label Switching. Intercambio De Etiquetas Multiprotocolares. Es un estándar del IETF que surgió para agrupar diferentes soluciones de conmutación multinivel.

**NSP:** Network Service Provider. Proveedor de Servicio de Red. Es una compañía que provee servicios de backbone a un ISP (Internet Service Provider), la compañía que muchos usuarios del Web usan como acceso a la Internet.

**OSI, Modelo de referencia:** Modelo de arquitectura de red desarrollado por ISO e UIT-T. El modelo está compuesto por siete capas, cada una de las cuales

especifica funciones de red individuales, por ejemplo, direccionamiento, control de flujo, control de errores, encapsulamiento y transferencia confiable de mensajes. La capa superior (la capa de aplicación) es la más cercana al usuario; la capa inferior (la capa física) es la más cercana a la tecnología de medios. Las dos capas inferiores se implementan en el hardware y el software, y las cinco capas superiores se implementan sólo en el software. El modelo de referencia OSI se usa a nivel mundial como método para la enseñanza y la comprensión de la funcionalidad de la red. Las siete capas que describe son: Aplicación (7), Presentación (6), Sesión (5), Transporte (4), Red (3), Enlace de datos (2) y Física (1).

**PPP:** Point to Point Protocol. Protocolo Punto a Punto. Protocolo que le permite a un computador el uso de protocolos TCP/IP. Es normalmente utilizado para conexión a la Internet a través de una línea telefónica y un módem.

**PVC:** Permanent Virtual Circuit. Circuito Virtual Permanente. Es un camino virtual a través de una red, caracterizado por tener puntos de llegada definidos por el operador de la red en una subestación de suscripción. Un simple camino físico puede soportar varios PVCs.

**QoS:** Quality Of Service. Calidad de Servicio. Es la idea de mejorar la tasa de transmisión, tasas de error y otras características que pueden ser medidas, y en

muchos casos garantizar el servicio. QoS es de preocupación particular para las transmisiones continuas de alto ancho de banda para video y transmisiones multimedia.

**RSVP:** Resource Reservation Protocol. Protocolo de Reservación de Recursos. Es un conjunto de reglas de comunicación que permite canales o caminos en la Internet sean reservados para multicast (cuando un paquete se manda a muchos usuarios), transmisión de video o cualquier otro uso diferenciado. RSVP es parte del modelo IIS (Internet Integrated Service) el cual asegura servicios de mejor-esfuerzo, tiempo-real y control de compartición de links.

**TCP/IP:** Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Protocolo para Control de Trasmisión/protocolo Inter. red. Software adecuado para proceso Inter. red originado en la Arpanet del departamento de Defensa de EEUU.

**TTL:** Time-To-Live. Es un campo dentro del encabezado IP que indica el tiempo de vida del paquete cuando este viaja por la red.

**VPN:** Virtual Private Network. Red Privada Virtual. Servicio ofrecido por carriers (portadoras comunes), en el cual la red pública conmutada provee capacidades similares aquellas de las líneas privadas, tales como acondicionamiento, chequeo de errores, transmisión a alta velocidad, full duplex, basada en cuatro hilos conductores con una calidad de línea adecuada para transmisión de datos.

## RESUMEN

---

MPLS es un estándar del IETF que surgió para agrupar diferentes soluciones de conmutación multinivel, propuestas por distintos fabricantes a mediados de los 90. MPLS se puede presentar desde diferentes perspectivas: Un sustituto de la conocida arquitectura IP sobre ATM, Como un protocolo para hacer túneles o Como una Técnica para acelerar el enrutamiento de los paquetes.

### Componentes de MPLS

LSRs (Label Switching Router): Es un enrutador de alta velocidad especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS. Etiqueta: es un identificador corto, de longitud fija y con significado local empleado para identificar un FEC. FEC (Forwarding Equivalence Class): Clase que define un conjunto de paquetes que se envían sobre el mismo camino a través de una red, aun cuando sus destinos finales sean diferentes. LSP (Label Switched Path): Es una ruta a través de uno a más LSRs en un nivel de jerarquía que sigue un paquete de un FEC en particular.

La base del MPLS está en la asignación e intercambio de etiquetas, que permiten el establecimiento de los caminos LSP por la red de un LSR a otro, a través del domino MPLS. El formato de una cabecera MPLS (32 bits), que se coloca entre la cabecera IP (capa 3) y la cabecera de la capa 2 (salvo para aquellos protocolos con campos para etiquetas como ATM y FR), es: 20 bits para la etiqueta MPLS, 3 bits para identificar la clase de servicio en el campo EXP, 1 bit de pila (stack) para poder apilar etiquetas y 8 bits para indicar el TTL.

#### Aplicaciones de MPLS

La ingeniería de tráfico consiste en trasladar flujo de enlaces congestionados a enlaces menos congestionados. MPLS ayuda a realizar esto ya que permite establecer rutas específicas a través del LSP, permite obtener estadísticas de uso LSP y permite restringir ciertas rutas para proveer distintos niveles de calidad. En VPNs, MPLS proporciona un modelo inteligente ya que conoce la existencia de VPNs. Evita complejidad introducida por los túneles y los PVCs, y permite aprovechar las posibilidades de la ingeniería del tráfico para garantizar los parámetros críticos y la respuesta global de la red, necesarios para un servicio completo VPN.

## INTRODUCCION

---

Día a día, se hace más evidente el crecimiento de la red. El número de usuarios que se conecta a la red se incrementa de una manera asombrosa, ahora, este no es el mayor reto que tiene que enfrentar la Internet actual. Además de los usuarios que a ella se conectan, existen también las distintas aplicaciones que en ella se ejecutan, por ejemplo, las aplicaciones que se corren en entornos corporativos (videoconferencia, VoIP, etc.) que requieren de un tratamiento más especial que las aplicaciones que corre un usuario común desde su casa. Para cubrir esta demanda los proveedores de Internet están reemplazando los tradicionales conmutadores ATM por una nueva generación de conmutadores y enrutadores de alta productividad, con funciones especializadas en el transporte de paquetes en el núcleo de las redes.

Uno de los factores del éxito de nuestra Internet actual es el uso del protocolo TCP/IP como estándar para cualquier aplicación o servicio que en ella se ejecuta. Pero si bien es cierto que la Internet puede llegar a consolidarse como el modelo de red pública de datos a gran escala, también es cierto que no llega a satisfacer todos los requisitos de los usuarios, principalmente los ya mencionados entornos corporativos que necesitan la red para el soporte de aplicaciones críticas.

La Internet se valora más por el servicio de acceso y distribución de contenidos que por el servicio de transporte de datos, conocido como de “best-effort”. Esta situación se complementa con una nueva arquitectura de red de reciente aparición conocida como Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo (**MPLS**), la cual se considera fundamental en la construcción de los nuevos cimientos para la Internet del siglo XXI.

MPLS es un estándar del IETF contenido en el RFC 3031, que surgió para agrupar diferentes soluciones de conmutación multinivel, propuestas por distintos fabricantes a mediados de los 90. Según el énfasis o interés que se ponga a la hora de explicar sus características y utilidad, MPLS se puede presentar como:

- Un sustituto de la conocida arquitectura IP sobre ATM.
- Como un protocolo para hacer túneles.
- Como una técnica para acelerar el encaminamiento de los paquetes.

MPLS integra las características claves de la capa 2 y capa 3 del modelo ISO/OSI, además no está limitado a ningún protocolo de la capa 2 o 3. En el enrutamiento tradicional, un paquete se direcciona salto a salto. Es decir, cada vez que ese paquete llega a un enrutador tiene que revisar rutas basadas en la dirección de destino de la capa 3 incluida en el encabezado del IP (Internet Protocol). Esto es necesario cada vez para determinar el siguiente salto en su trayecto hasta llegar a su destino final.

En MPLS, la decisión de asignar un determinado paquete a un FEC en particular se hace una sola vez, cuando el paquete entra a la red en un LER. La FEC a la que un paquete es asignado es codificada en una etiqueta de un tamaño determinado. Cuando el paquete es enviado a su siguiente salto, la etiqueta es enviada con el paquete, es decir, los paquetes son etiquetados antes de ser enviados.

En los saltos subsecuentes no hay necesidad de hacer análisis del encabezado del paquete de la capa de red. Más bien, la etiqueta es usada con un índice en una tabla la cual especifica el siguiente salto y una nueva etiqueta. Así la etiqueta es remplazada con una nueva etiqueta la cual es agregada al paquete y luego ambos son enviados al siguiente salto. Esto lo hacen los enrutadores o conmutadores denominados LSRs. Así, una vez que un paquete es asignado a una FEC, ningún enrutador subsiguiente necesita volver a hacer el análisis.

MPLS esta destinada a solucionar los problemas que presentan las soluciones actuales de IP sobre ATM, tales como la expansión sobre una topología virtual superpuesta, así como la complejidad de gestión de dos redes separadas y tecnológicamente diferentes. Pero ante todo esto, debemos considerar MPLS como un avance más reciente en la evolución de las tecnologías de enrutamiento y forwarding en redes IP, lo que implica una nueva manera de pensar a la hora de construir y gestionar estas redes.

# El Problema de la Investigación

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2. OBJETIVOS

1.3. JUSTIFICACION



## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El enorme crecimiento de la red Internet ha convertido al protocolo IP en la base de las actuales redes de telecomunicaciones, contando con más del 80% del tráfico cursado. Por su desempeño, tiene la posibilidad de correr sobre redes versátiles. La red IP hoy en día se ha convertido en una extensa red en la que las posibilidades de negocio y los mercados de consumo inducen al desarrollo de nuevas aplicaciones de voz y multimedia que requieren mayor ancho de banda y QoS (Calidad de Servicio) durante todo el servicio.

Avanzamos hacia una convergencia entre voz y datos en la red IP y su infraestructura y protocolos han sido optimizados sólo para datos, así que IGP (Interior Gateway Protocol), RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), EGP (Exterior Gateway Protocol) y BGP4 (Border Gateway Protocol v4), no son la solución óptima. Muchos de estos protocolos de enrutamiento están basados en algoritmos para obtener el camino más corto sin tener en cuenta métricas adicionales como retardo, jitter y congestión del tráfico. Todo esto se traduce en una sobrecarga en el router IP, problemas de propagación de las rutas y la obligación de integrar redes IP con ATM (Modo de Transferencia Asíncrona).

MPLS ha sido desarrollado para eliminar varios de estos problemas, como son el retardo y la congestión del tráfico. Es un estándar IP de conmutación de paquetes del IETF contenido en el RFC 3031, que trata de proporcionar algunas de las características de las redes orientadas a conexión a las redes no orientadas a conexión. Básicamente es una arquitectura multinivel, capaz de soportar cualquier tipo de tráfico e independiente del nivel de transporte de datos sobre el que se apoya. Puede ofrecer una gran eficiencia a la hora de realizar la transmisión de paquetes de un extremo a otro de la red MPLS, gracias a que combina la flexibilidad del nivel de red IP con los beneficios propios de un modelo de red orientado a conexión.

Este protocolo es simple, lo que facilita su implementación, ofreciendo Calidad de Servicio y Clases de Servicios por lo que puede ofrecer garantías de servicio. MPLS es capaz de integrar IP y ATM mediante la construcción de un puente entre las dos redes, también facilita la integración de IP sobre SONET en conmutación y/o transmisión óptica. Todo esto se traduce en grandes posibilidades de éxito, debido a la facilidad de migrar una red actual (Frame Relay, ATM, Ethernet) a MPLS, siendo el primer paso la coexistencia entre ellas mediante software añadido a equipos actuales.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

Desarrollar una visión general sobre la nueva Arquitectura de red MPLS, analizando sus características generales y principales aspectos técnicos.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Describir el funcionamiento básico de la arquitectura MPLS y sus principales componentes.

Identificar las ventajas y desventajas de su implementación.

Brindar una visión futura de las redes con arquitectura MPLS como solución tecnológica altamente viable.

Describir las diferentes aplicaciones que utiliza esta tecnología: Redes virtuales privadas, Ingeniería de tráfico y calidad de servicio.

### **1.3. JUSTIFICACION**

En la actualidad, MPLS se considera fundamental en la construcción de los nuevos cimientos para la tecnología de redes del siglo XXI. MPLS es el estándar de arquitectura multinivel que se está desarrollando actualmente, el cual solucionará algunos de los problemas existentes en las redes actuales, basadas en routing. La migración a MPLS está provocando cambios en el sector de las telecomunicaciones y se ha convertido en un reto para los ISP de cara a incorporar los beneficios de esta tecnología en el proceso de transformación de sus infraestructuras.

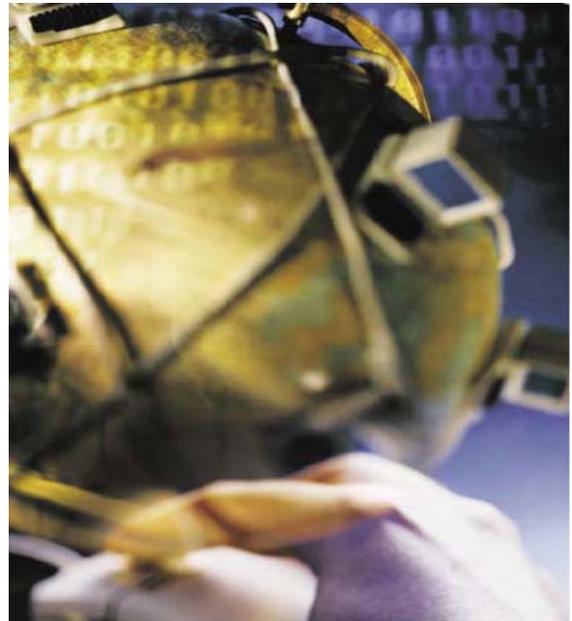
Se cree que con MPLS puede haber una evolución de ATM a IP hasta eventualmente llegar a una red óptica, jugando un papel importante en la convergencia de las redes actuales, ya que al ser una arquitectura multiprotocolo, puede manejar diferentes tipos de redes (IP, ATM, Frame Relay) sobre una misma plataforma, permitiéndole implementarse sobre las redes ya existentes. Aparte MPLS ofrece muchas opciones para la ingeniería de tráfico y calidad de servicio haciendo así más eficiente la red sin tener que estar usando diferentes tecnologías.

Crear redes privadas virtuales basadas en MPLS representa otro beneficio, pues ofrece conectividad todos con todos, lo que la convierte en una red realmente flexible con unos requerimientos de configuración mínimos a la hora de añadir un nuevo extremo a la VPN, pues solo hay que configurar el nuevo extremo, sin tener que tocar la configuración del resto de extremos y evita la complejidad de los túneles y PVCs. Por otro lado, al ser un modelo de red acoplado, en lugar de conexiones extremo a extremo entre los distintos emplazamientos de la VPN, las conexiones son a una red común en la que solamente pueden entrar los miembros de la misma VPN.

En la actualidad hay mucho optimismo sobre MPLS en el mundo, lo cual significa que la cantidad de proveedores y aplicaciones está creciendo cada vez más. La primera generación de soluciones MPLS apenas está siendo introducida, dejando mucho campo sobre el cual se puede seguir trabajando.

## Antecedentes de MPLS

- 2.1. IP SOBRE ATM
- 2.2. CONMUTACION IP



## **2. ANTECEDENTES MPLS**

Antes de hablar de MPLS es importante conocer las tecnologías que le precedieron y que sirvieron como base para la creación de este estándar. Como ya se ha mencionado, el crecimiento de la red Internet y la aparición de nuevas aplicaciones, obligaron al uso de un mayor ancho de banda y una mejor gestión de la red. Esto obligo a los proveedores de servicios a mejorar la infraestructura de la red para lograr una mayor eficiencia en el transporte de información. Los primeros esfuerzos trataban de integrar funciones de las capas 2 y 3 del modelo OSI con el fin de aumentar el rendimiento de los routers tradicionales a la de un conmutador ATM. De esta forma, surgieron dos nuevas tecnologías: Primero IP sobre ATM y luego Conmutación IP, las cuales brindaron una solución inicial a los problemas existentes en la red.

### **2.1. IP SOBRE ATM**

A mediados de los años 90 IP fue conquistando terreno como protocolo de red ante otras arquitecturas que se encontraban en uso como: SNA, IPX, AppleTalk, OSI, etc. El gran auge de la Internet y su explosivo crecimiento generó un déficit

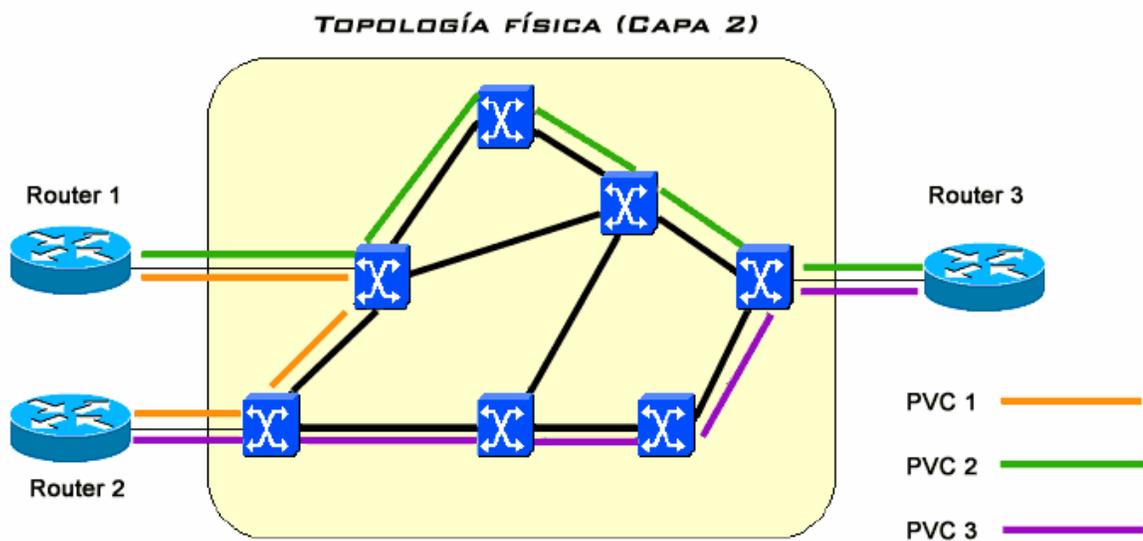
de ancho de banda, ya que los "backbones" IP de los proveedores de servicio (NSP) estaban contruidos con enrutadores conectados por líneas dedicadas T1/E1 y T3/E3, lo que ocasionaba congestión y saturamiento de las redes. Había entonces que idear otras alternativas de ingeniería de tráfico. Del mismo modo, los NSPs se plantearon la necesidad de aprovechar mejor los recursos de red existentes, sobre todo la utilización eficaz del ancho de banda de todos los enlaces. Con los protocolos habituales de encaminamiento (basados en métricas del menor número de saltos), ese aprovechamiento del ancho de banda global no resultaba efectivo.

Como consecuencia, se impulsaron los esfuerzos para poder aumentar el rendimiento de los *routers* tradicionales. Estos esfuerzos trataban de combinar, de diversas maneras, la eficacia y la rentabilidad de los conmutadores ATM con las capacidades de control de los routers IP. A favor de integrar los niveles 2 y 3 estaba el hecho de las infraestructuras de redes ATM que estaban desplegando los operadores de telecomunicación. Estas redes ofrecían entonces (1995-97) una buena solución a los problemas de crecimiento de los NSPs. Por un lado, proporcionaba mayores velocidades (155 Mbps) y, por otro, las características de respuesta determinísticas de los circuitos virtuales ATM posibilitaban la implementación de soluciones de ingeniería de tráfico. El modelo de red "IP sobre ATM" (IP/ATM) pronto ganó adeptos entre la comunidad de NSPs, a la vez que

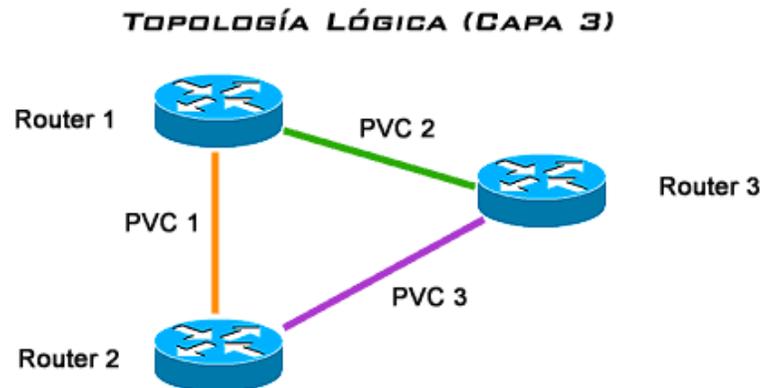
facilitó la entrada de los operadores telefónicos en la provisión de servicios IP y de conexión a la Internet al por mayor.

El funcionamiento IP/ATM supone la superposición de una topología virtual de enrutadores IP sobre una topología real de conmutadores ATM. Cada enrutador se comunica con el resto mediante los circuitos virtuales permanentes (PVC) que se establecen sobre la topología física de la red ATM, desconociendo la topología real de la infraestructura ATM que sustenta los PVC como se observa en la figura 1 y figura 2.

**Figura 1. Topología Física ATM**



**Figura 2. Topología Lógica IP Superpuesta**



La base del modelo IP/ATM está en la funcionalidad proporcionada por el nivel ATM, es decir, los controles de software (señalización y enrutamiento) y el envío de las celdas por hardware (conmutación). En realidad los circuitos (PVCs) se establecen a base de intercambiar etiquetas en cada conmutador de la red, por lo tanto asociando etiquetas entre todos los elementos ATM se determinan los PVCs.

El hecho de superponer IP sobre ATM permite aprovechar la infraestructura ATM ya existente, obteniendo de esta manera un ancho de banda a precios competitivos, y una rapidez de transporte de datos proporcionada por los conmutadores.

Sin embargo, el modelo IP/ATM tiene también sus inconvenientes: hay que gestionar dos redes diferentes, una infraestructura ATM y una red lógica IP

superpuesta, lo que supone a los proveedores de servicio unos mayores costes de gestión global de sus redes.

Existe, además, lo que se llama la "tasa impuesta por la celda", un *overhead* aproximado del 20% que causa el transporte de datagramas IP sobre las celdas ATM y que reduce en ese mismo porcentaje el ancho de banda disponible.

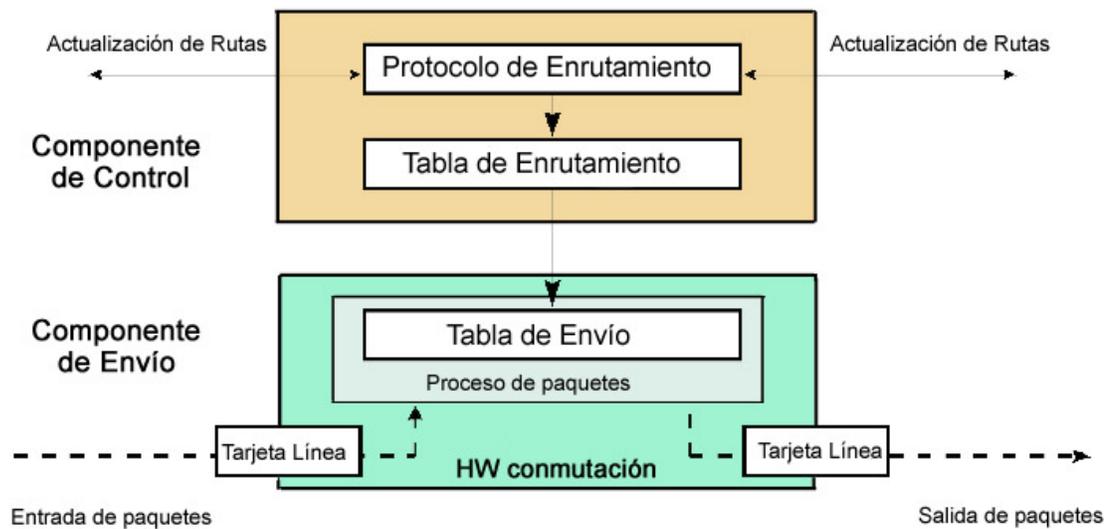
## **2.2. CONMUTACION IP**

Los problemas derivados del rendimiento de la solución IP/ATM, llevaron posteriormente al desarrollo de técnicas para la integración de los niveles de forma efectiva. Esas técnicas se conocieron como "Conmutación IP" o "conmutación multinivel". El problema que presentaban estas soluciones o técnicas era la falta de interoperatividad, ya que se usaban diferentes tecnologías privadas para combinar las capas 2 y 3 (OSI). Todas las soluciones de conmutación multinivel se basan en dos componentes básicos comunes:

- La separación entre las funciones de control y envío.
- El paradigma de intercambio de etiquetas para el envío de datos.

En la figura 3 se representa la separación funcional de esas dos componentes, una de *control* y la otra de *envío*. La componente de control utiliza los protocolos estándar de encaminamiento (OSPF, IS-IS y BGP-4) para el intercambio de información con los otros *routers* para la construcción y el mantenimiento de las tablas de encaminamiento. Al llegar los paquetes, la componente de envío busca en la tabla de envío, que mantiene la componente de control, para tomar la decisión de encaminamiento para cada paquete. En concreto, la componente de envío examina la información de la cabecera del paquete, busca en la tabla de envío la entrada correspondiente y dirige el paquete desde la interfaz de entrada al de salida a través del correspondiente hardware de conmutación.

**Figura 3. Separación funcional de encaminamiento y envío**



Al separar la componente de control de la componente de envío, cada una de ellas se puede implementar y modificar independientemente. Para el envío de datos, se realiza un intercambio de etiquetas. Una etiqueta es un campo de unos pocos bits y de longitud fija, que se añade a la cabecera del paquete y que identifica a una "clase equivalente de envío" (FEC, "Forwarding Equivalente Class").\*

El algoritmo de intercambio de etiquetas permite así la creación de caminos virtuales conocidos como LSP (Label Switched Path), funcionalmente equivalente a los PVCs de ATM. La diferencia básica entre las técnicas de conmutación y el modelo IP/ATM es que en el fondo lo que se hace es imponer una conectividad entre extremos a una red no conectiva por naturaleza (como son las redes IP), pero todo ello sin perder la visibilidad del nivel de red.

---

\* En Internet: <http://www.rediris.es/rediris/boletin/53/enfoque1.html>

## **Conceptos y Elementos Básicos de la Arquitectura MPLS**

- 3.1. ENVIO (Forwarding), RUTEO (Routing) Y CONMUTACION (Switching)**
- 3.2. LSR (Label Switching Router) Y LER (Label Adge Router)**
- 3.3. FEC (Forwarding Equivalence Class)**
- 3.4. LSP (Label Switched Path)**
- 3.5. ETIQUETAS**



### 3.1. ENVIO (Forwarding), RUTEO (Routing) Y CONMUTACION (Switching)

Para tener una idea más concreta de la arquitectura MPLS, se deben tener claros algunos conceptos claves usados por las tecnologías que le precedieron. Entre estos conceptos se destacan:

- **Envío (Forwarding):** Esta técnica permite a una red enviar sus datos a otra red por medio de conexiones. Se considera un proceso de capa 3 para el control y envío de paquetes. Está muy relacionado con el concepto de tunneling, el cual consiste en encapsular un protocolo de red dentro de paquetes que son acarreados por otra red.
- **Ruteo (Routing):** Describe las acciones realizadas por los enrutadores para mover los paquetes a través de la red con base en la información proporcionada por los protocolos de enrutamiento. La función de ruteo está formada por dos actividades básicas: la determinación de la trayectoria óptima de ruteo y el transporte de grupos de información (Paquetes) a través de una red. Los protocolos de ruteo permiten a cada máquina entender cual es el siguiente salto que el paquete debe seguir hacia su destino, como son: OSPF, RIP, BGP, EGP, IGRP. Estos

protocolos son usados por los enrutadores para construir las tablas de ruteo que emplean para tomar una decisión de envío; analizan la tabla para obtener la dirección IP destino contenida en el encabezado del paquete y así identificar el siguiente salto. Las funciones básicas que cumple un enrutador son las siguientes: Desencapsulado capa 2, Encaminamiento, ICMP, Clasificación de paquetes (colas, permisos, otros), Conmutación capa 3, Control capa 2 (checksum) y Encapsulado capa 2. Estas funciones las encontramos en dos planos: Plano de Control y Plano de Datos (Reenvío).

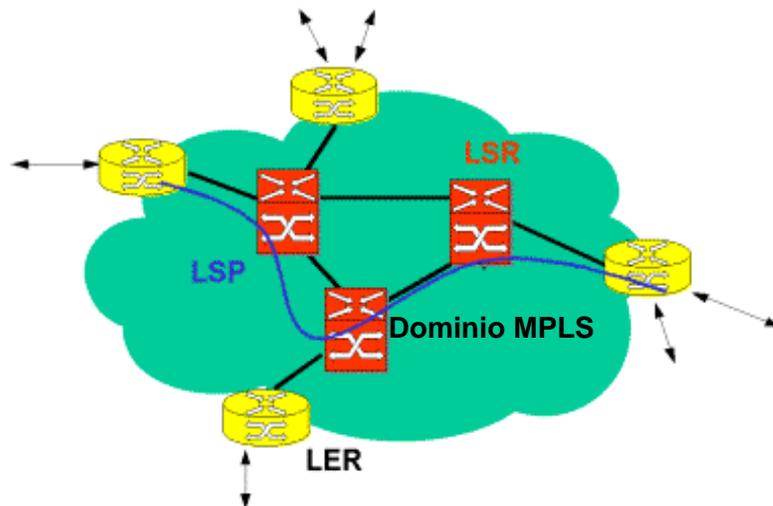
- **Conmutación (Switching):** Método usado para la transferencia de datos de un puerto de entrada hacia uno de salida en una maquina, en la cual la selección del puerto de salida se basa en información de tipo Capa 2 (Por ejemplo: Virtual Circuit Identifiers VCIs en ATM o Data Link Connection Identifier DLCI en Frame Relay).

### **3.2. LSR (Label Switching Router) Y LER (Label Edge Router)**

Son los dos tipos principales de nodos que componen una red MPLS. Estos dispositivos participan en los mecanismos del protocolo MPLS y se conocen también como enrutadores de etiqueta de borde (LER) y enrutadores de conmutación de etiquetas (LSR). Los dos son físicamente el mismo dispositivo, un router o un switch de red troncal que incorpora el software MPLS, siendo el administrador el que lo configura para cualquiera de los modos de trabajo. La Figura 4 ilustra estos componentes dentro de un Dominio MPLS, que se define como el conjunto total de nodos con funcionalidad MPLS y que pertenecen a un mismo dominio de encaminamiento IP.

Un LSR es un enrutador de alta velocidad, que dentro del núcleo de una red MPLS cumple las siguientes funciones: participar en el establecimiento de las LSPs usando el protocolo de señalización apropiado y conmutar rápidamente el tráfico de datos entre los caminos establecidos. También se conoce como enrutador del interior del Dominio MPLS.

**Figura 4. Núcleo MPLS**

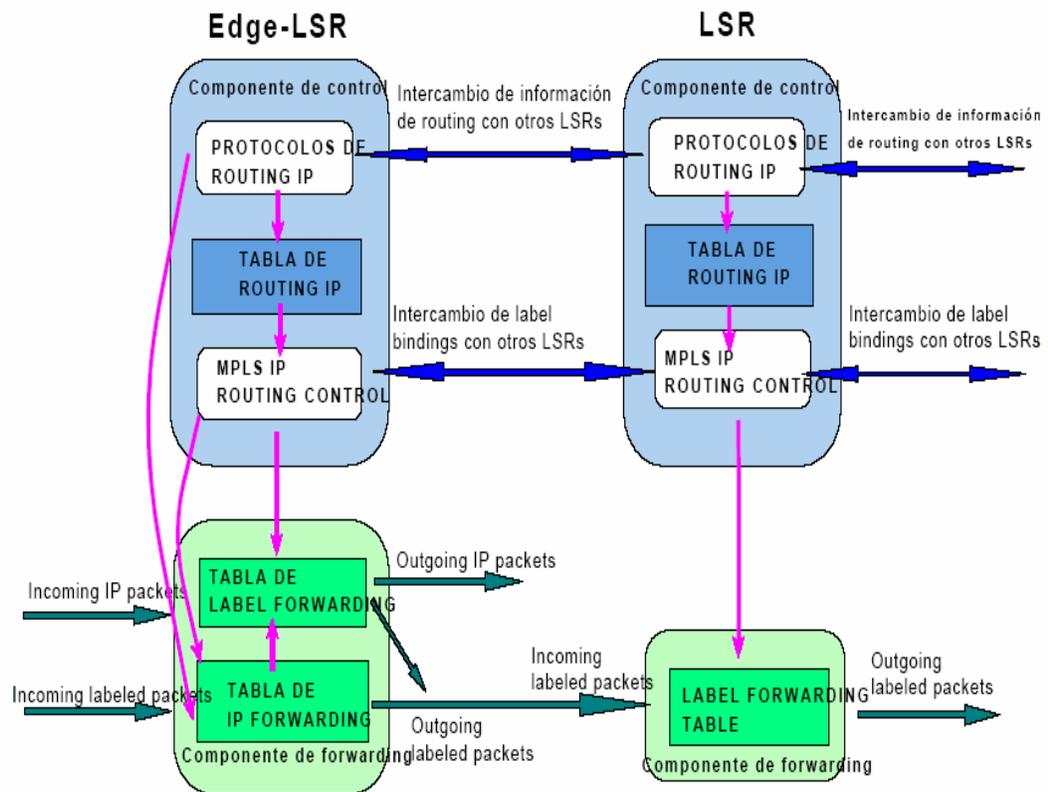


Para que los LSPs se puedan usar, cada LSR debe contener en sus tablas de envío la siguiente información: Interfaz de entrada, etiqueta asociada e Interfaz de salida, etiqueta asociada. A este proceso se le conoce como distribución de etiquetas. En la figura 5 se ilustra la arquitectura de un LSR y un LER.

Un LER es un enrutador en la frontera de una red de acceso hacia una red MPLS. Soporta múltiples puertos conectados a diferentes redes como Frame Relay, ATM y Ethernet. Tiene dos funciones principales: En el ingreso, establece un LSP para el tráfico en uso y lo envía hacia la red MPLS usando el protocolo de señalización de etiquetas y en la salida, distribuye nuevamente el tráfico hacia la red de acceso

que corresponda. Es por esto que juega un papel importante en la asignación y remoción de etiquetas aplicada al tráfico que entra y sale de una red MPLS. En el Anexo A se muestran las especificaciones de dos equipos usados para MPLS de la empresa Nortel Networks\*.

**Figura 5. Arquitectura de un LSR y un LER**



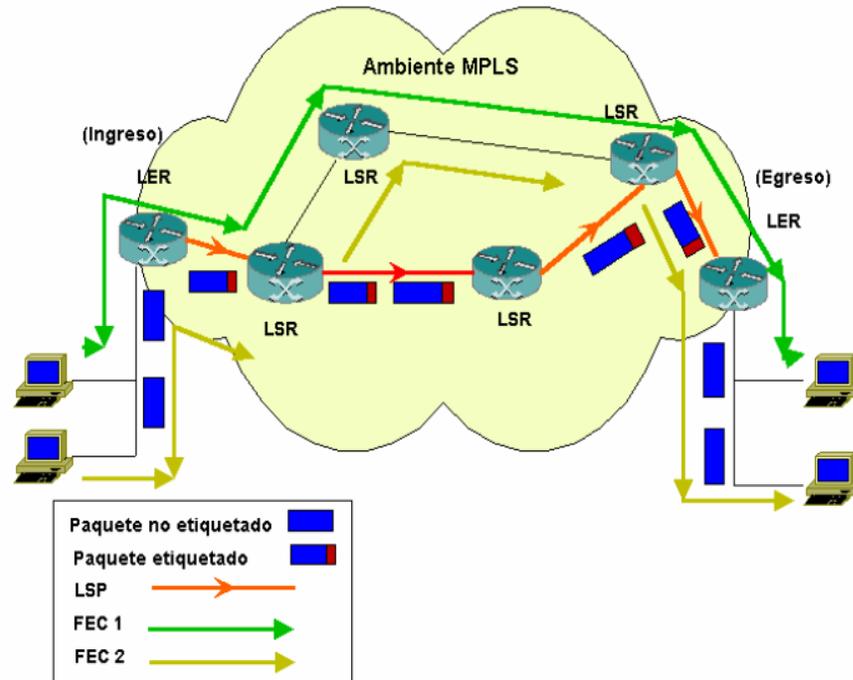
\* En Internet: <http://www.nortelnetworks.com/corporate/technology/mpls/productos.html>

### **3.3. FEC (Forwarding Equivalence Class)**

Una clase de envío equivalente (FEC) es una agrupación de paquetes que comparten los mismos atributos y/o requieren el mismo servicio para su transporte, aun cuando el destino de cada paquete sea diferente. Se caracteriza porque los paquetes reciben el mismo tratamiento en el camino hacia el destino. A diferencia del tradicional envío de paquetes en IP, en MPLS la asignación de un paquete a una FEC en particular se hace una sola vez, en el momento que el paquete entra a la red. La FEC a la que es asignado dicho paquete es codificada como un valor fijo llamado etiqueta, que están asociadas a una FEC por medio de un proceso de unión.

La definición de una FEC se basa en los requerimientos de servicio que tenga un conjunto de paquetes dado o simplemente, por el prefijo de una dirección IP. Cada LSR elabora una tabla con uniones FEC/Etiqueta llamada base de información de etiquetas (LIB), donde se especifica el paquete que debe ser enviado. Como lo muestra la figura 6, las FECs representan a paquetes que pueden estar destinados a diferentes prefijos IP, pero pueden pasar a través de una misma LSP, como es el caso de FEC1 y FEC2.

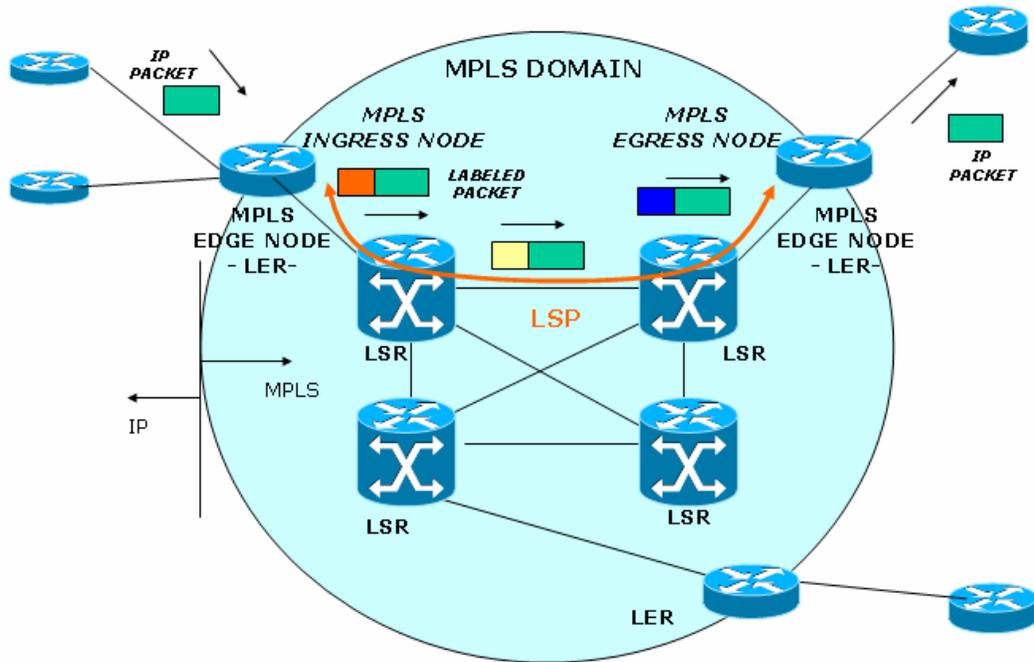
**Figura 6. Componentes de una Red MPLS**



### 3.4. LSP (Label Switching Path)

Una LSP define las trayectorias de ingreso y egreso a través de uno o más LSRs en un nivel de jerarquía que siguen todos los paquetes asignados a un FEC específico. Funcionalmente es equivalente a un circuito virtual. Esta ruta puede establecerse usando protocolos de enrutamiento o manualmente. En la figura 7 se ilustra el concepto de LSP.

**Figura 7. Ejemplo de un LSP**



Pueden ser diseñadas para minimizar el número de saltos, tener ciertos anchos de banda, soportar requerimientos precisos de ejecución, desviar la transferencia de datos de puntos potenciales de congestión, alejar el tráfico de la trayectoria o simplemente para forzar el tráfico sobre ciertos enlaces o nodos de la red.

### 3.4.1. Tipos de LSP

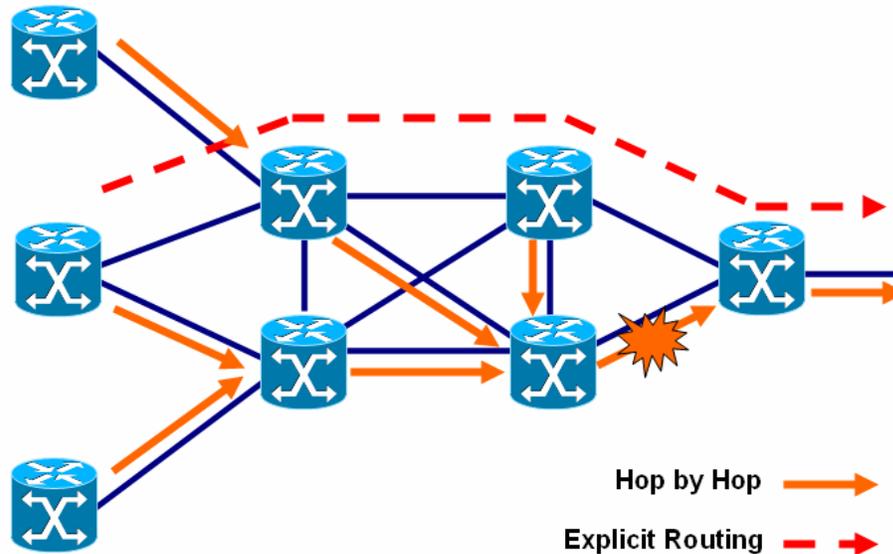
MPLS provee dos opciones para establecer una LSP:

**3.4.1.1. Ruteo Hop by Hop (Salto a salto).** Cada LSR selecciona independientemente el siguiente salto para una FEC dada. Este método es similar al usado en redes IP. El LSR usa cualquiera de los protocolos de ruteo disponibles, como OSPF.

**3.4.1.2. Ruteo Explicito.** El LER de ingreso especifica la lista de nodos por la cual viaja la trayectoria explicita. La ruta explicita puede contener solamente la especificación de una parte del camino dentro del dominio MPLS. Si se define desde la entrada hasta la salida del dominio no se necesita ningún algoritmo de enrutamiento, y si solo incluye una parte del camino, el resto se obtiene con ayuda de los algoritmos de enrutamiento. Sin embargo, la ruta especificada puede ser no óptima.

A lo largo de la trayectoria, los recursos deben ser reservados para asegurar una calidad de servicios para el tráfico de datos. Facilita la ingeniería de tráfico. La figura 8 ilustra los tipos de LSP mencionados anteriormente.

**Figura 8. Tipos de Trayectos con Conmutación de Etiquetas**



### 3.5. ETIQUETAS

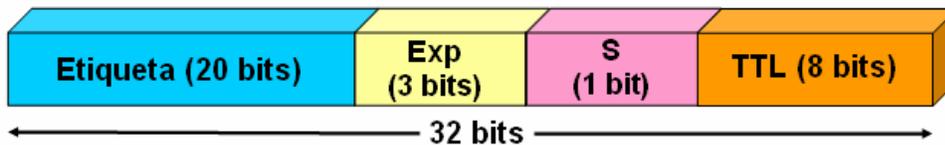
Es un identificador corto, de longitud fija y con significado local en cada interfaz empleada para identificar un FEC y el trayecto que el paquete debe cruzar. Se dice que tiene un significado local porque la misma etiqueta puede señalar diferentes caminos o FECs en diferentes enrutadores. Es encapsulada dentro de un encabezado de capa 2 (Figura 9) junto con el paquete.

**Figura 9. Encapsulado de la Etiqueta MPLS Genérica**



La etiqueta que se coloca en un paquete particular representa la FEC a la cual el paquete es asignado completa o parcialmente basado en la dirección de capa de red de destino. No obstante, la etiqueta no es una codificación de la dirección. La figura 10 muestra el formato genérico de un encabezado MPLS y cada uno de sus campos.

**Figura 10. Etiqueta MPLS Genérica**



El encabezado esta formado por 32 bits dividido en los siguientes campos:

- **Label (20 bits):** Es el valor actual, con sentido únicamente local, de la etiqueta MPLS. Esta etiqueta es la que determinará el próximo salto del paquete.

- **Exp (3 bits):** Este campo antes se llamada CoS (Clase de Servicio). En el se indica la QoS del paquete y es posible diferenciar distintos tipos de tráficos y mejorar el rendimiento de un tipo de tráfico respecto a otros.
- **Stack (1 bit):** Mediante este bit se soporta una pila de etiquetas jerárquicas, es decir, indica si existen más etiquetas MPLS. Este bit esta en uno cuando es la ultima entrada de la pila y cero en cualquier otro caso. Las cabeceras MPLS se comportan como si estuvieran apiladas una sobre otra, de modo que el nodo MPLS tratará siempre la que esté más alto en la pila. La posibilidad de encapsular una cabecera MPLS en otras, tiene sentido, por ejemplo, cuando se tiene una red MPLS que tiene que atravesar otra red MPLS perteneciente a un ISP u organismo administrativo externo distinto; de modo que al terminar de atravesar esa red, se continúe trabajando con MPLS como si no existiera dicha red externa.
- **TTL (8 bits):** Este campo es copiado directamente de la cabecera IP y proporciona la funcionalidad de tiempo de vida del paquete o TTL (Time To Live) típica de IP; la cual permite mitigar el efecto de posibles bucles en la red decrementando el valor inicial en una unidad por cada salto o nodo por el que pase el paquete.

Algunas operaciones que se realizan con una etiqueta son:

- ◆ **Label Swap:** Operación de cambio del valor de la etiqueta en cada nodo.
- ◆ **Label Merging:** Cambio de varias etiquetas por una única, que identifican al mismo FEC.

### 3.5.1. Uniones a Etiquetas

Las etiquetas son enlazadas a una FEC como resultado de algún evento que indica la necesidad por dicha etiqueta. Estos eventos de unión pueden ser divididos en dos categorías:

**3.5.1.1. Uniones Data-Driven.** Ocurre cuando el tráfico comienza a fluir. Éste es sometido al LSR y es reconocido como un LS (usa la recepción de un paquete para disparar el proceso de asignación y distribución de etiquetas). Estas uniones son establecidas solo cuando son necesitadas y son asignadas a flujos individuales de tráfico IP, y no a paquetes individuales.

**3.5.1.2. Uniones Control-Driven.** Son el resultado de la actividad del plano de control e independientes del flujo de datos. Las uniones pueden ser establecidas como respuesta a actualizaciones de enrutamiento (Usa procesamiento de protocolos de enrutamiento como OSPF y BGP), o por la recepción de mensajes RSVP (Usa procesamiento de control de tráfico basado en peticiones).

## Funcionamiento de MPLS

- 4.1. DEFINICION DE MPLS
- 4.2. DISTRIBUCION DE ETIQUETAS
- 4.3. DESCRIPCION FUNCIONAL
- 4.4. PROTOCOLOS DE MPLS



## 4.1. DEFINICION DE MPLS

MPLS es un trabajo realizado y especificado por la IETF que da los parámetros para la eficiente designación, ruteo, envío y conmutación de tráfico que fluye por la red. MPLS realiza las siguientes funciones:

- ◆ Especifica mecanismos para manejar flujos de tráfico de varias granularidades, como flujos entre diferente hardware, maquinas, o incluso flujos entre diferentes aplicaciones.
  
- ◆ Permanece independientes de los protocolos de capa 2 y capa 3.
  
- ◆ Provee de medios para mapear direcciones IP, en etiquetas de longitud fija que son usadas por diferentes técnicas de envío y conmutación de paquetes.
  
- ◆ Tiene interfaces con protocolos de enrutamiento existentes como el RSVP y el OSPF.
  
- ◆ Soporta protocolos de capa 2: IP, ATM y Frame Relay.

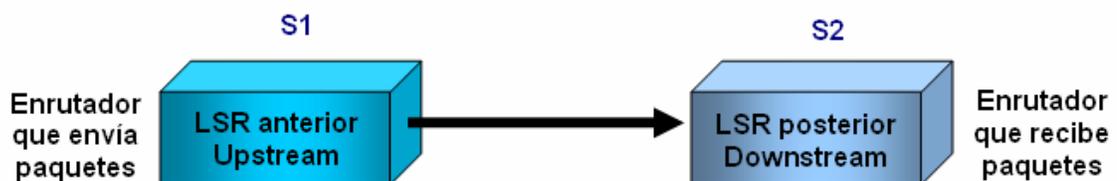
Se le llama un “Multiprotocolo” porque sus técnicas son aplicables a cualquier protocolo de capa 3 (Red). Algunos de los siguientes conceptos ya han sido definidos, pero se recalcaran para adecuarse exactamente al contexto de MPLS.

En MPLS la transmisión de datos ocurre sobre trayectorias unidireccionales definidas por etiquetas llamadas LSPs. Un LSP es una secuencia de etiquetas en cada nodo a lo largo de la trayectoria, desde la fuente hasta el destino. Los LSPs pueden ser establecidos previamente a la transmisión de datos (Control-Driven), o al momento en que se detecta un cierto flujo de datos (Data-Driven). Las etiquetas son distribuidas usando protocolos como el LDP o el RSVP, o pueden ser sobrepuestas a protocolos de enrutamiento más comunes como BGP o el OSPF. Cada paquete encapsula y transporta las etiquetas a través de su paso por la trayectoria. La conmutación se efectúa a altas velocidades, debido a que las etiquetas son de longitud fija, son insertadas al principio del paquete y pueden ser manejadas por hardware para conmutar rápidamente los paquetes entre los enlaces correspondientes.

## 4.2. DISTRIBUCION DE ETIQUETAS

En cuanto al proceso de distribución de etiquetas, se plantean conceptos que indican la dirección en que éste ocurre: upstream (Río Arriba) y downstream (Río Abajo). Por ejemplo, tenemos dos LSRs, S1 y S2 como lo ilustra la figura 11. Estos deciden unir la etiqueta L a la FEC Z para paquetes enviados de S1 a S2. Se dice que con respecto a esta unión S1 es el LSR upstream y S2 es el LSR downstream, indicando que etiqueta en particular representa una FEC en paquetes que viajan del nodo upstream al nodo downstream (Significancia local de la etiqueta).

**Figura 11. LSRs Upstream y Downstream**



Dos LSRs que usan un protocolo de distribución de etiquetas para intercambiar información de las uniones son conocidos como un par de distribución de etiquetas (Label Distribution Peer) con respecto a la información que intercambian.

Si se tiene un par de distribución de etiquetas, se puede hablar también de una adyacencia de distribución de etiquetas entre ellos.

#### **4.2.1. Control de Distribución de Etiquetas**

MPLS define dos modos de control para distribución de etiquetas entre dos LSR adyacentes:

**4.2.1.1. Control Independiente.** En este modo, un LSR reconoce una FEC en particular y toma la decisión de unir una etiqueta a la FEC independientemente de distribuir la unión a sus LSR pares.

**4.2.1.2. Control Ordenado.** En este modo, un LSR une una etiqueta a una FEC dada si y solo si se trata de un LER. Es decir, que el LER es responsable de la distribución de etiquetas.

## 4.2.2. Esquemas de Distribución de Etiquetas

En la arquitectura MPLS, la decisión de unir una etiqueta a una FEC en particular se realiza por el LSR que es downstream con respecto a dicha unión. Entonces, el LSR downstream informa al LSR upstream de la unión. Por lo tanto las etiquetas son asignadas en tendencia downstream y las uniones de etiquetas son distribuidas en dirección downstream a upstream. Esta distribución de etiquetas se da en dos posibles esquemas o escenarios\*:

**4.2.2.1. Downstream Unsolicited (No solicitada):** Permite que un LSR downstream asigne una etiqueta sin que haya recibido una solicitud explícita (Figura 12).

**Figura 12. Unsolicited Downstream**



---

\* CHAWES ROCHA, Yesid. Curso Telecomunicaciones. MPLS Multiprotocol Label Switching. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEM e IDEC. Noviembre 2004

**4.2.2.2. Downstream on Demand (Solicitada):** El LSR upstream hace una petición explícita de una etiqueta, para un determinado FEC, al downstream que es el siguiente salto del camino (Figura 13).

**Figura 13. Downstream on Demand**



### **4.2.3. Retención de Etiquetas**

La arquitectura MPLS define el tratamiento para uniones FEC/Etiquetas en LSRs que no son el siguiente salto de una FEC en particular. Se definen dos modos:

**4.2.3.1. Modo Conservador de Retención (Conservative Label Retention Mode):** El LSR monitoriza la asignación y conoce cuando deja de estar activa, y al dejar de ser activa puede descartar esta asignación. Tiene la ventaja de que solo permanecen asignadas aquellas etiquetas que realmente están en uso. Su

desventaja es que si volver a establecer la relación entre FEC y etiqueta es necesario repetir el procedimiento de asignación.

**4.2.3.2. Modo Liberal de Conservación (Liberal Label Retention Mode):** Una vez que el LSR ha recibido una asignación la mantiene indefinidamente. Su ventaja es que si se desea volver a establecer la relación entre FEC y etiqueta no es necesario repetir el proceso de asignación. La desventaja es el alto consumo de etiquetas.

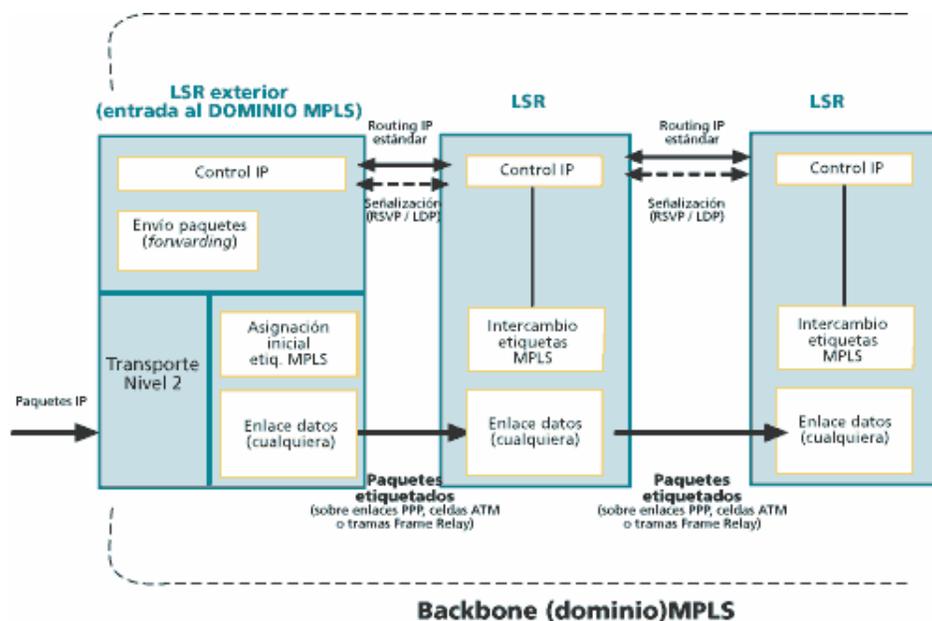
### **4.3. DESCRIPCION FUNCIONAL**

La operación de MPLS se basa en las componentes funcionales de envío y control que actúan ligadas entre si. Antes de explicar estas dos componentes, definiremos el funcionamiento de las tablas de enrutamiento las cuales usan los enrutadores MPLS para el envío de paquetes.

### 4.3.1. Funcionamiento Envío de Paquetes y Tablas que lo Asisten

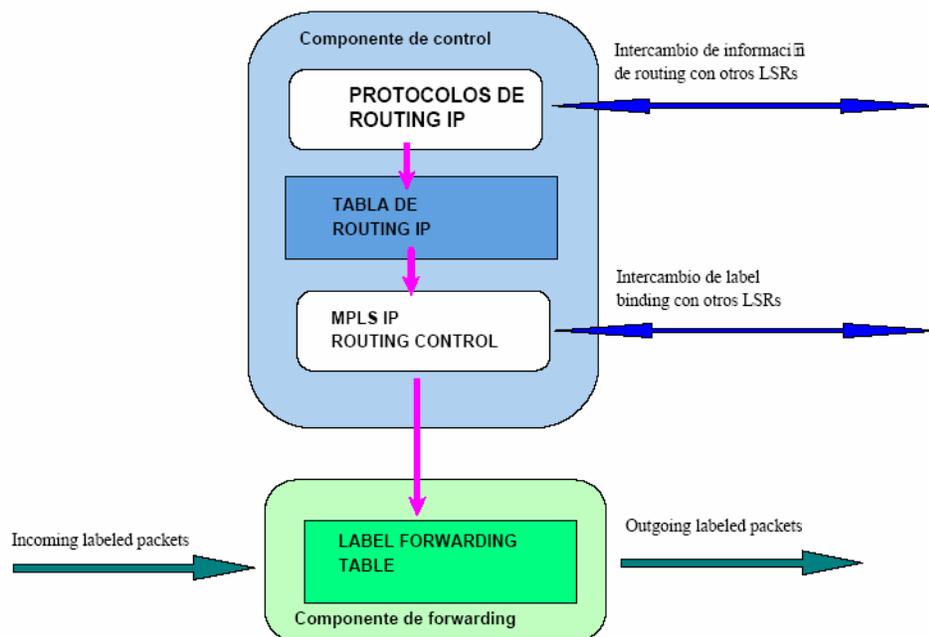
La base del MPLS está en la asignación e intercambio de etiquetas que permiten el establecimiento de los caminos LSPs por la red. Los LSPs son simplex por naturaleza, es decir, se establecen para un sentido del tráfico en cada punto de entrada a la red y para el tráfico dúplex, se requieren dos LSPs, uno en cada sentido. Cada LSP se crea a base de unir uno o más saltos (hops) en los que se intercambian las etiquetas, de modo que cada paquete se envía de un LSR a otro, a través del dominio MPLS. En la figura 14 se puede ver la funcionalidad del MPLS.

Figura 14. Esquema Funcional de MPLS



Al igual que en las soluciones de conmutación multinivel, MPLS separa las dos componentes funcionales de control (routing) y de envío (forwarding) como lo muestra la figura 15. Del mismo modo, el envío se implementa mediante el intercambio de etiquetas en los LSPs.

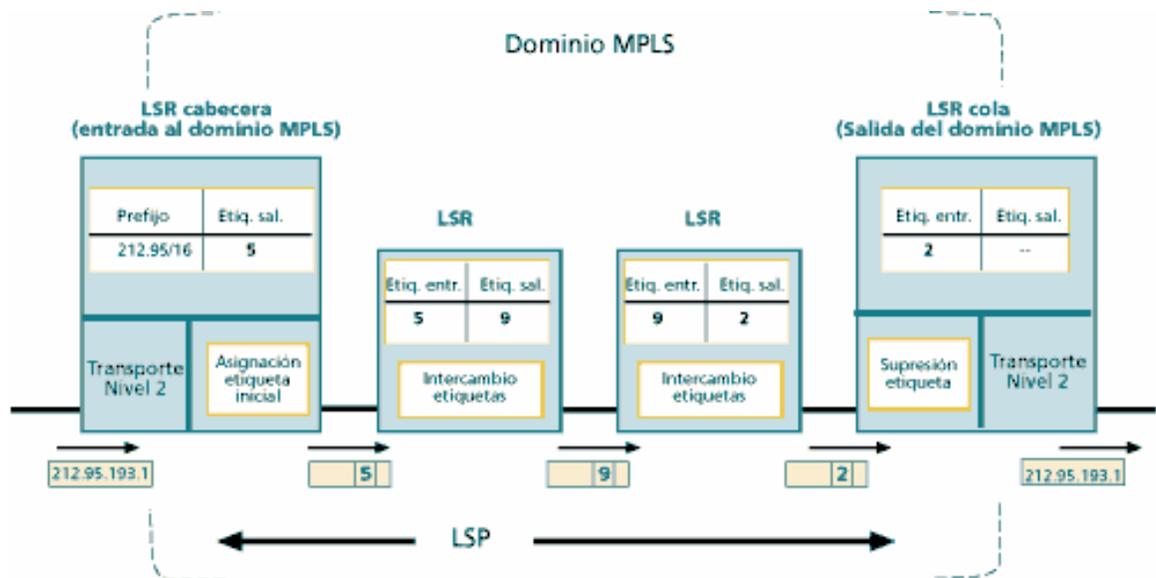
**Figura 15. Separación Funcional de Control y Envío**



Un camino LSP es el circuito virtual que siguen por la red todos los paquetes asignados a la misma FEC. Al primer LSR que interviene en un LSP se le denomina de entrada o de cabecera y al último se le denomina de salida o de cola. Los dos están en el exterior del dominio MPLS como se ilustra en la Figura 16. Los demás son LSRs interiores del dominio MPLS. Dentro del dominio MPLS los LSR

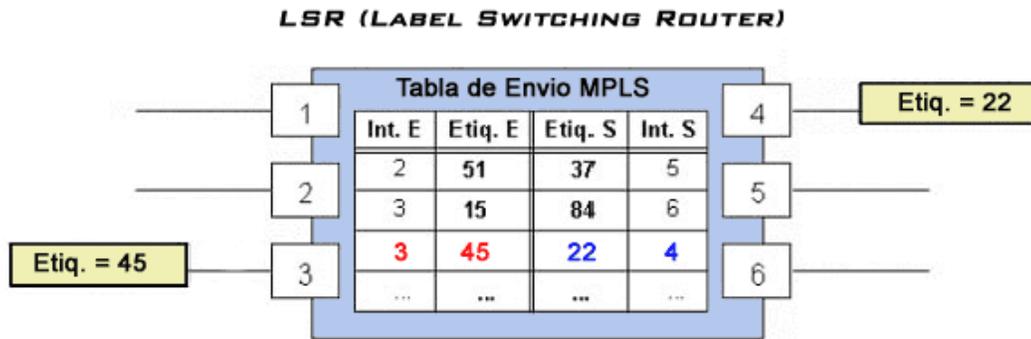
ignoran la cabecera IP; solamente analizan la etiqueta de entrada, consultan la tabla correspondiente (tabla de conmutación de etiquetas) y la reemplazan por otra nueva. Al llegar el paquete al LSR de cola (salida), ve que el siguiente salto lo saca de la red MPLS; al consultar ahora la tabla de conmutación de etiquetas quita ésta y envía el paquete por enrutamiento convencional.

**Figura 16. LSRs en un Dominio MPLS**



Un LSR es como un enrutador que funciona a base de intercambiar etiquetas según una tabla de envío. Esta tabla se construye a partir de la información de enrutamiento que proporciona la componente de control. En la figura 17 se ilustra un ejemplo de la tabla de un LRS del núcleo MPLS.

Figura 17. Detalle de la Tabla de Envío de un LSR



Un enrutador MPLS o LSR procesa paquetes con etiquetas entrantes, a esta información se le llama tabla cross-connect (de interconexión), o tabla NHLFE (Next Hop Label Forwarding Entry). Una tabla de este tipo se utiliza para el envío de paquetes etiquetado. La principal ventaja de usar estas tablas en vez del tradicional ruteo, es que esta información puede ser procesada como datos de tipo Capa 2, donde el procesamiento es mucha más rápido que el ruteo.

La tabla NHFLE\* esta formada principalmente por todas las etiquetas que pueden ser encapsuladas dentro de los paquetes. Cada NHLFE contiene: El siguiente salto (next hop) del paquete y la operación que la pila de etiquetas debe ejecutar, que es la siguiente:

---

\* En internet: <http://www.iec.org/online/tutorials/mpls/.2003>.

- ◆ Reemplazar la etiqueta que se encuentra primera en la pila con una nueva etiqueta específica.
- ◆ Ejecutar un “pop” (Quitar la etiqueta de arriba) en la pila.
- ◆ Repite el primer paso y después ejecuta un “push” (Empuje) de una o varias etiquetas nuevas en la pila.

Después de ejecutar el pop en la pila, la etiqueta obtenida se agrega al paquete y es entonces cuando el paquete es enviado al siguiente salto por medio de la interfase de salida. Como la NHLFE se encuentra en la interfase de transmisión, la tabla no necesita almacenar información de la interfase de salida.

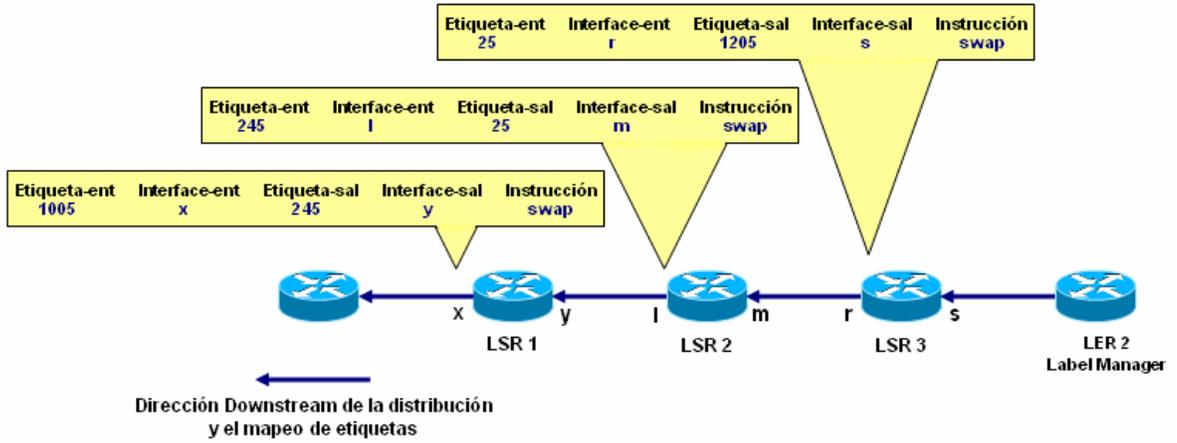
La estructura de datos (Tabla) con la que un LSR interpreta etiquetas entrantes es llamada Mapa de Etiquetas Entrantes o Incoming Label Map (ILM). Una tabla ILM se forma de todas las etiquetas entrantes que un LSR o LER de egreso puede reconocer. El contenido de cada entrada ILM es: Etiqueta, Código de operación, FEC y un campo opcional que contiene un enlace a la estructura de salida utilizada para el envío de los paquetes (NHLFE). Cada interfase lógica del LSR almacena su propia tabla ILM.

En el caso de un LER de ingreso, existe una estructura que tiene el propósito de ayudarle al enrutador a decidir que etiquetas agregar a un paquete en particular. Esta estructura se llama FEC-to-NHLFE (FTN), es decir, un mapeo de cada FEC a un conjunto de NHLFEs. Se usa para enviar paquetes que llagan no etiquetados, y que van a serlo antes de ser enviados. Una entrada FTN esta formada por: una FEC y una entrada NHLFE. El procesamiento general que realiza esta tabla es la siguiente:

- ◆ Decide a que FEC pertenece un paquete.
  
- ◆ Encuentra la FEC dentro de la tabla FTN.
  
- ◆ Envía el paquete a la entrada NHLFE que corresponde a la FTN.

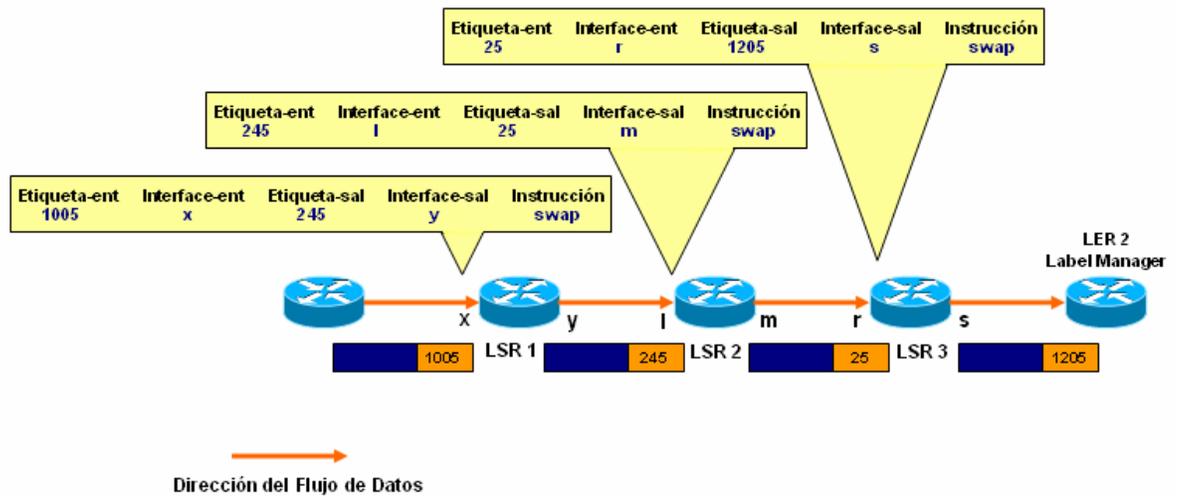
En resumen: un LSR usa el campo FTN para enviar paquetes no etiquetados, y usa mapeo ILM cuando se trata de enviar paquetes etiquetados. En las figuras 18 y 19 se muestra un ejemplo grafico de cómo un LSR usa la tabla NHLFE para enviar paquetes a través del LSP que va del LER1 al LER2. En la figura 18 se puede observar la dirección del mapeo que se realiza por los LSPs downstream en dirección upstream. El LER2 funciona como Label Manager ya que se encarga de la requisición de etiquetas.

**Figura 18. Trayectoria de LSRs con tablas NHLFE**



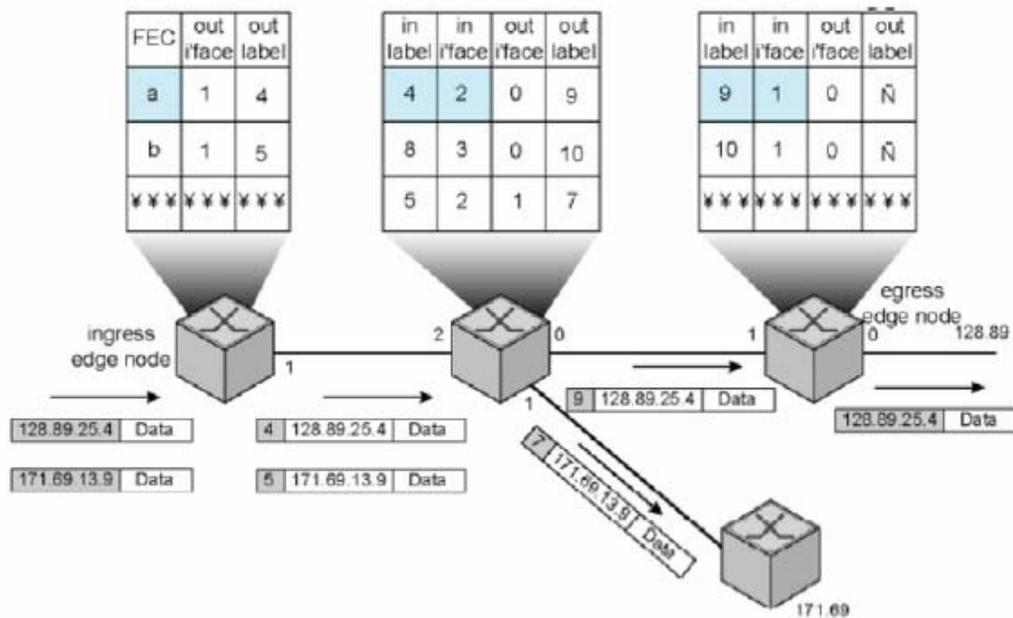
En la figura 19 se puede observar el envío de paquetes una vez realizado el mapeo correspondiente. Los paquetes se desplazan del LER1 al LER2 intercambiando etiquetas en cada LSR.

**Figura 19. Flujo de datos en dirección del mecanismo de petición**



Otro ejemplo del funcionamiento de las tablas de enrutamiento de forma general se muestra en la figura 20. Se tienen tres conmutadores. El conmutador de la izquierda es un LER de ingreso el cual solo tiene una interfase de salida, la "1". Como es un LER de ingreso, este debe tener la capacidad de deducir a partir de la capa 2 y 3, la dirección destino. Podemos ver en su tabla de enrutamiento que si se tiene que asignar a la FEC "a" se le agrega al paquete una etiqueta de salida "4" mientras que si se tiene que asignar a la FEC "b" la etiqueta de salida es "5".

**Figura 20. Tablas de enrutamiento**



El siguiente conmutador tiene una interfase de entrada “2” y dos de salida, “0” y “1”. En su tabla de enrutamiento podemos observar tres renglones que nos dicen lo siguiente:

- ◆ Si tiene etiqueta de entrada “4” y entra por la interfase “2”, el paquete debe de salir por la interfase “0” con una etiqueta “9”.
  
- ◆ Si tiene etiqueta de entrada “8” y entra por la interfase “3”, el paquete debe de salir por la interfase “0” con una etiqueta “10”.
  
- ◆ Si tiene etiqueta de entrada “5” y entra por la interfase “2”, el paquete debe de salir por la interfase “1” con una etiqueta “7”.

Ahora podemos observar los dos paquetes que ha mandado el primer conmutador que van a llegar por la interfase “2”, uno con la etiqueta “4” y otro con la etiqueta “5”. El segundo conmutador recibe los paquetes y luego debe extraer la etiqueta del paquete para después revisar su tabla de enrutamiento y decidir que es lo que debe hacer. Después de analizar los paquetes les cambia las etiquetas por la que le corresponde y los despacha por la interfase que indica la tabla de enrutamiento.

El conmutador en la parte superior derecha es un LER de salida, el cual manda el paquete a otro tipo de la red, por lo cual su función básica es decidir por cual interfase sale el paquete y quitarle todas las etiquetas que pueda tener el paquete ya que estas no pueden ser analizadas fuera de una red MPLS. El conmutador en la parte inferior izquierda es un conmutador destino, por lo cual solo recibe el paquete y analiza la información recibida.

Como se ve, la identidad del paquete original IP queda enmascarada durante el transporte por la red MPLS, que no "mira" sino las etiquetas que necesita para su envío por los diferentes saltos LSR que configuran los caminos LSP. Según las especificaciones del IETF, MPLS debía funcionar sobre cualquier tipo de transporte: PPP, LAN, ATM, Frame Relay, etc. Por ello, si el protocolo de transporte de datos contiene ya un campo para etiquetas (como ocurre con los campos VPI/VCI de ATM y DLCI de Frame Relay), se utilizan esos campos nativos para las etiquetas. Sin embargo, si la tecnología de nivel 2 empleada no soporta un campo para etiquetas (Enlaces PPP o LAN), entonces se emplea la cabecera genérica MPLS

### 4.3.2. Control de Información

Hasta ahora se ha visto el mecanismo básico de envío de paquetes a través de los LSPs mediante el procedimiento de intercambio de etiquetas según las tablas de los LSRs. Pero queda por ver dos aspectos fundamentales:

- ◆ Cómo se generan las tablas de envío que establecen los LSPs.
- ◆ Cómo se distribuye la información sobre las etiquetas a los LSRs.

El primero de ellos está relacionado con la información que se tiene sobre la red: topología, patrón de tráfico, características de los enlaces, etc. Es la información de control típica de los algoritmos de enrutamiento. MPLS necesita esta información de enrutamiento para establecer los caminos virtuales LSPs. Lo más lógico es utilizar la propia información de enrutamiento que manejan los protocolos internos IGP (OSPF, IS-IS, RIP) para construir las tablas de enrutamiento (recuérdese que los LSR son enrutadores con funcionalidad añadida). Esto es lo que hace MPLS precisamente: para cada "ruta IP" en la red se crea un "camino de etiquetas" a base de concatenar las de entrada/salida en

cada tabla de los LSRs; el protocolo interno correspondiente se encarga de pasar la información necesaria.

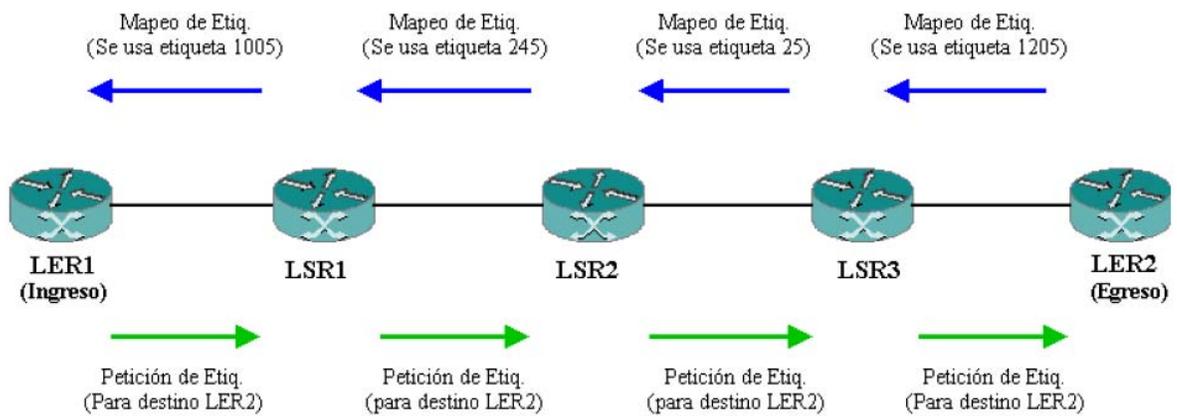
El segundo aspecto se refiere a la información de "señalización", pero siempre que se quiera establecer un circuito virtual se necesita algún tipo de señalización para marcar el camino, es decir, para la distribución de etiquetas entre los nodos. Sin embargo, la arquitectura MPLS no asume un único protocolo de distribución de etiquetas; de hecho se están estandarizando algunos existentes con las correspondientes extensiones; unos de ellos es el protocolo RSVP del Modelo de Servicios Integrados del IETF (recuérdese que ése era uno de los requisitos). Pero, además, en el IETF se están definiendo otros nuevos, específicos para la distribución de etiquetas, cual es el caso del LDP.

**4.3.2.1. Mecanismos de Señalización.** MPLS utiliza dos mecanismos de señalización para la distribución de etiquetas entre nodos:

- ◆ **Petición de Etiquetas (Label Request):** Usando este mecanismo, un LSR hace una petición de etiqueta a su vecino downstream, de manera que la pueda unir a una FEC específica. Este mecanismo puede ser empleado por toda la cadena de LSRs hasta el LER de egreso.

- ◆ **Mapeo de Etiquetas (Label Mapping):** Usando este método, un LSR downstream manda o mapea una etiqueta al LSR upstream correspondiente en respuesta a una petición de etiqueta. Los conceptos de señalización se ilustran en la figura 21.

**Figura 21. Mecanismos de Señalización MPLS**

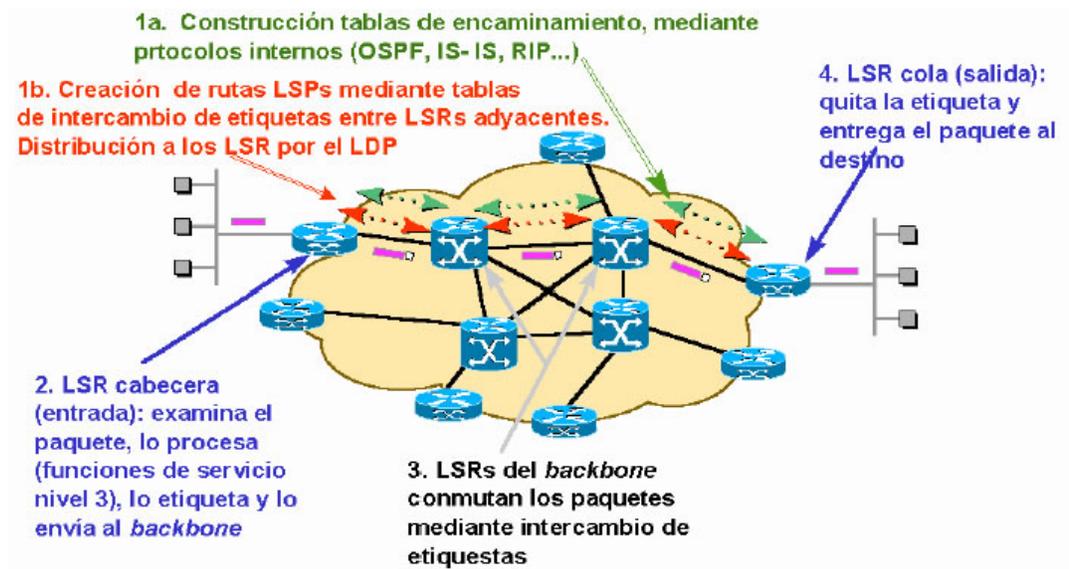


### 4.3.3. Operación de MPLS

Una vez vistos todos los componentes funcionales, el esquema global de funcionamiento es el que se muestra en la figura 22, donde quedan reflejadas las diversas funciones en cada uno de los elementos que integran la red MPLS. Es

importante destacar que en el borde de la nube MPLS tenemos una red convencional de enrutadores IP.

**Figura 22. Funcionamiento de una Red MPLS**



El núcleo MPLS proporciona una arquitectura de transporte que hace aparecer a cada par de enrutadores a una distancia de un sólo salto. Funcionalmente es como si estuvieran unidos todos en una topología mallada (directamente o por PVCs ATM). Ahora, esa unión a un solo salto se realiza por MPLS mediante los correspondientes LSPs (puede haber más de uno para cada par de enrutadores). La diferencia con topologías conectivas reales es que en MPLS la construcción de caminos virtuales es mucho más flexible y que no se pierde la visibilidad sobre los

paquetes IP. Todo ello abre enormes posibilidades a la hora de mejorar el rendimiento de las redes y de soportar nuevas aplicaciones de usuario.

Una característica única que presenta MPLS, es que puede controlar la trayectoria de un paquete sin que sea necesario que se especifiquen los enrutadores intermedios. Esto se realiza por la creación de túneles que pasen por enrutadores intermedios, los cuales pueden abarcar múltiples segmentos, lo que se conoce como tunneling. Un ejemplo de cómo se ejecuta este procedimiento en MPLS se ilustra en el Anexo B.

#### **4.4. PROTOCOLOS EN MPLS**

Para poder utilizar un LSP en un dominio MPLS se requiere que todos los LSR involucrados en el camino sepan qué etiquetas utilizar en cada interfaz y para esto se requiere que las tablas de forwarding de los LSR tengan la información relativa a las interfaces y etiquetas implicadas para cada LSP. Los protocolos en MPLS son los responsables de llenar las tablas de conmutación de etiquetas, mapeando etiquetas de ingreso con etiquetas de egreso, también conocido como LSP Set-Up. Consiste en procedimientos para que dos LSRs compartan información de

capacidades MPLS e intercambien información de mapeo de etiquetas. Actualmente existen cuatro protocolos: LDP, CR-LDP, RSVP y RSVP-TE.

#### **4.4.1. Protocolo LDP (Label Distribution Protocol)**

El LDP es un protocolo creado específicamente para la distribución de información concerniente a uniones FEC/Etiqueta, dentro de una red MPLS. Es además, una opción recomendada, aunque no obligatoria, por el IETF. ES usado para mapear FECs a etiquetas, lo cual consecuentemente creara LSPs. Las sesiones LDP son creadas entre para LDP de una red MPLS (pares no necesariamente adyacentes).

Los pares intercambian los siguientes tipos de mensajes LSP\*:

- Mensajes de descubrimiento (Discovery Messages): Utilizados para anunciar y mantener la presencia de los LSR en la red.
- Mensaje de sesión (Sesión Messages): Grupo de mensajes usados para establecer, mantener y terminar sesiones entre pares LDP.

---

\* CHAWES ROCHA, Yesid. Curso Telecomunicaciones. MPLS Multiprotocol Label Switching. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEM e IDEC. Noviembre 2004

- Mensajes de advertencia (Advertisement Messages): Grupo utilizado para crear, modificar y borrar las asignaciones de etiquetas a los FEC. Es decir, para operaciones relacionadas con la gestión de etiquetas entre LSRs.
- Mensajes de notificación (notificación messages): Grupo de mensajes usado para transportar información correspondiente a señales de error y proporcionar información de aviso.

El intercambio de mensajes entre LSRs pares se realiza mediante el envío de PDUs (Protocol Data Unit) de LDP basado en la utilización de sesiones LDP que se establecen sobre conexiones TCP. Cada PDU – LDP puede transportar más de un mensaje LDP, sin que ellos tengan relación entre si. El LDP es recomendado si se utiliza una aproximación paso a paso (hop by hop) para el establecimiento de los LSP como resultado de actualizar las tablas de enrutamiento. Un resumen de los principales mensajes LDP se muestra en el Anexo C.

Los LSRs adyacentes utilizan mecanismos de descubrimiento basados en mensajes LDP “Hello”. Existen dos mecanismos:

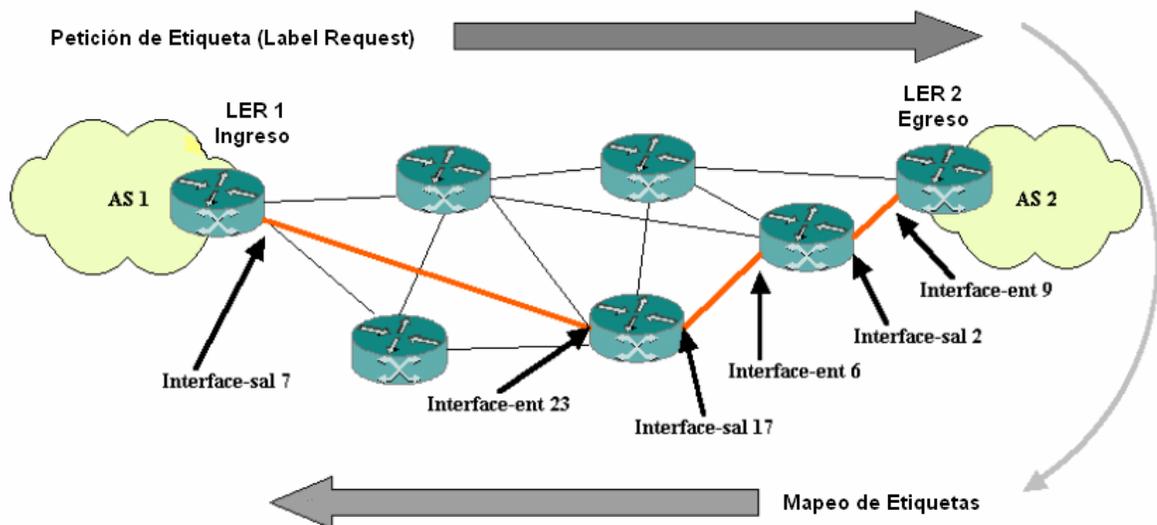
- ◆ Mecanismo Básico (Basic Discovery): Utilizado para descubrir LSRs vecinos conectados directamente al nivel del enlace mediante el envío periódico en difusión de mensajes “LDP Link Hellos”.
- ◆ Mecanismo Extendido (Extended Discovery): Localiza LSRs no conectados directamente al nivel de enlace mediante el envío periódico de mensajes “LDP Targeted Hellos” a una dirección específica y bien conocida.

#### **4.4.2. CR –LDP (Constraint- Based LDP)**

El enrutamiento basado en restricciones se basa en el cálculo de los trayectos o caminos que están sujetos a ciertas restricciones, como la anchura de banda, los requisitos QoS o cualquier otro requisito asociado al trayecto que defina el operador de la red. Este tipo de enrutamiento facilita al operador controlar el dimensionado del tráfico en su red y la QoS que puede ofrecer a sus clientes. Para este propósito MPLS ha elaborado las extensiones necesarias para que el protocolo LDP pueda soportar este tipo de enrutamientos conocido como CR-LDP y definido expresamente para admitir el establecimiento y mantenimiento de

LSPs enrutados de forma explicita. EL CR- LDP limitado es un protocolo construido sobre LDP, por eso no requiere de la implementación de un protocolo adicional. Usa las estructuras de mensajes existentes y solo se extiende lo necesario para llevar acabo la implementación de la ingeniería de tráfico. Las extensiones incluyen elementos de información necesarios para soportar el enrutamiento explicito y la modificación de los LSP, pero no incluye los algoritmos para calcular los trayectos según criterios definidos por el operador de la red. Soporta LSPs enrutados explicitamente (ya sean sueltos o estrictos). Se usa UDP para descubrir pares MPLS y TCP se utiliza para control, manejo, peticiones y mapeo (Señalización). La figura 23 muestra un ejemplo del establecimiento de trayectoria usando CR-LDP.

**Figura 23. Ejemplo de un LSP estricta, enrutada por un CR-LDP.**



Como se puede observar, se usan los mismos mecanismos de señalización del protocolo LDP para establecer una LSP estricta limitada al paso por dos LSRs específicos. Se envía una petición de etiqueta en sentido downstream y un mapeo de etiquetas en sentido upstream para establecer la trayectoria.

La trayectoria puede ser tan precisamente definida. Como para especificar las direcciones IP de cada LER y LSR. Este sistema puede ser muy ventajoso para tráficoes específicos, como voz o VPNs, ya que se puede definir la trayectoria optima para establecer sus necesidades de ancho de banda y de priorizacion.

#### **4.4.3. RSVP (Resource Reservation Protocol)\***

El Resource ReSerVation Protocol o protocolo de reservación de recurso es un método diseñado por el IETF en 1997, que fue creado para adaptar el concepto de reservación de recursos antes de la transmisión de datos y está contemplado por lo requisitos QoS. El protocolo fue diseñado para especificar requerimientos de ancho de banda y de condiciones de tráfico, para una trayectoria definida. Si el

---

\* FORD, Merliee. Tecnología de Interconectividad de Redes. Cisco Systems. México: 1998. Capitulo 6

ancho de banda requerido esta disponible, entonces se establece el enlace necesario para la transmisor.

El RSVP es utilizado por un nodo extremo para solicitar a la red QoS para un flujo o conjunto de flujos y por los nodos intermedios para entregar las solicitudes de QoS al resto de los nodos de la ruta de datos, así como establecer y mantener el estado del servicio solicitado. Opera sobre un protocolo IPV4/IPV6, permitiendo realizar reservas de recursos y establecer un VC simultáneamente. Luego, los mensajes RSVP se envían en paralelo con los paquetes IP.

RSVP no es un protocolo de transporte ni de enrutamiento, más bien esta diseñado para funcionar sobre cualquier protocolo de enrutamiento en unidifusión o multidifusión. Un protocolo de enrutamiento determina donde se envían los paquetes, RSVP determina la QoS de estos paquetes según las rutas.

La QoS para un flujo determinado se implementa con unos mecanismos llamados control de trafico. Los componentes son:

- ◆ Packet Classifier: Determina el tipo de QoS para cada paquete.

- ◆ Packet Scheduler: Para cada interfaz de salida realiza la respectiva QoS.

Durante el proceso de establecimiento de la reserva la petición se pasa por dos módulos:

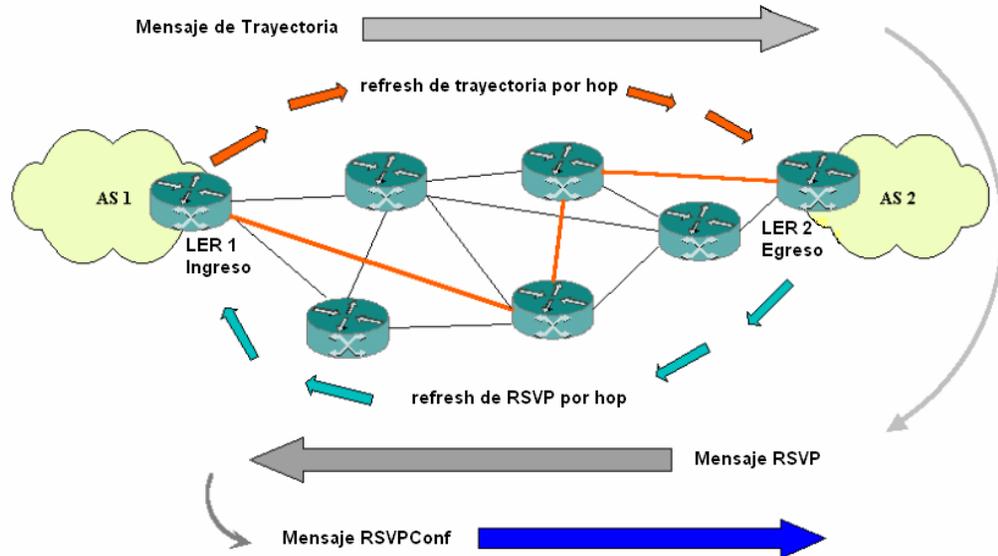
- ◆ Control de Admisión: Tiene el nodo suficientes recursos disponibles para soportar la petición de QoS?
- ◆ Sistema de control: Tiene el usuario permiso administrativo para hacer la reserva?

Si las dos decisiones están bien se activa el classifier para obtener la QoS deseada y si alguno falla, se genera una notificación de error que se envía a la aplicación que ha solicitado. Debido a que tanto la topología de una red como los miembros de la misma variaran, se establece un "estat soft". RSVP envía periódicamente mensajes de refresco para mantener el estado del trayecto reservado. Si no llega refresco, por timeout el estado se elimina.

#### **4.4.4. TE RSVP (Traffic Engineering- RSVP)**

MPLS propone las extensiones del protocolo RSVP para la implementación de la ingeniería de tráfico, a la que se llama TE-RSVP (traffic Engineering- RSVP) o RSVP con ingeniería de tráfico. El usar esta extensión, no significa que deba ser totalmente implementado el protocolo RSVP por los LERs y LSRs con los que cuente la red MPLS. TE-RSVP es un protocolo de “estado suave” (soft state) lo cual significa que la información es intercambiada cuando se establece el LSP, pero se deben enviar mensajes periódicos para notificar que la conexión todavía se requiere. El hecho que TE-RSVP sea soft state e introduzca una sobrecarga adicional hace que no sea escalable ya que esta sobrecarga crecerá proporcionalmente con el número de sesiones RSVP. Para evitar esto se intenta resumir la información y aprovechar un único mensaje para enviar varios mensajes de refresco. Usa datagramas UDP o IP como mecanismo de señalización en el establecimiento de LSPs, incluyendo peticiones de etiquetas, mapeo, descubrimientos y mapeo. La Figura 24 ilustra un ejemplo de la señalización en TE-RSVP.

**Figura 24. Ejemplo de una LSP enrutada por TE-RSVP**



Primero se usa un protocolo BGP para descubrir el LER de egreso apropiado y así poder enrutar el tráfico de AS1 a AS2, entonces el LER de ingreso manda un mensaje de trayectoria hacia el LER de egreso a través de cada LER de egreso a través de cada LSR. Este mensaje de “refresh” de trayectoria que llega a cada nodo, ayuda a crear una sesión de trayectoria en cada LSR. Al llegar el mensaje al LER de egreso, este responde con un mensaje RSVP que se usa para la reservación de recursos (con parámetros de tráfico y de QoS) en cada LSR upstream de la trayectoria. De nuevo el LER de ingreso manda un mensaje RSVPConf para confirmar el establecimiento de la trayectoria. Una vez establecida la trayectoria, esta tiene que ser mantenida por los LERs y LSRs por medio del constante envío de mensajes de refresh de trayectoria.

## **Aplicaciones de MPLS**

- 5.1. INGENERIA DE TRAFICO (TE)**
- 5.2. CALIDAD DE SERVICIO (QoS)**
- 5.3. SOPORTE A LAS CLASES DE SERVICIOS (CoS)**
- 5.4. REDES PRIVADAS VIRTUALES (VPN)**



## 5.1. INGENIERIA DE TRÁFICO (TE)

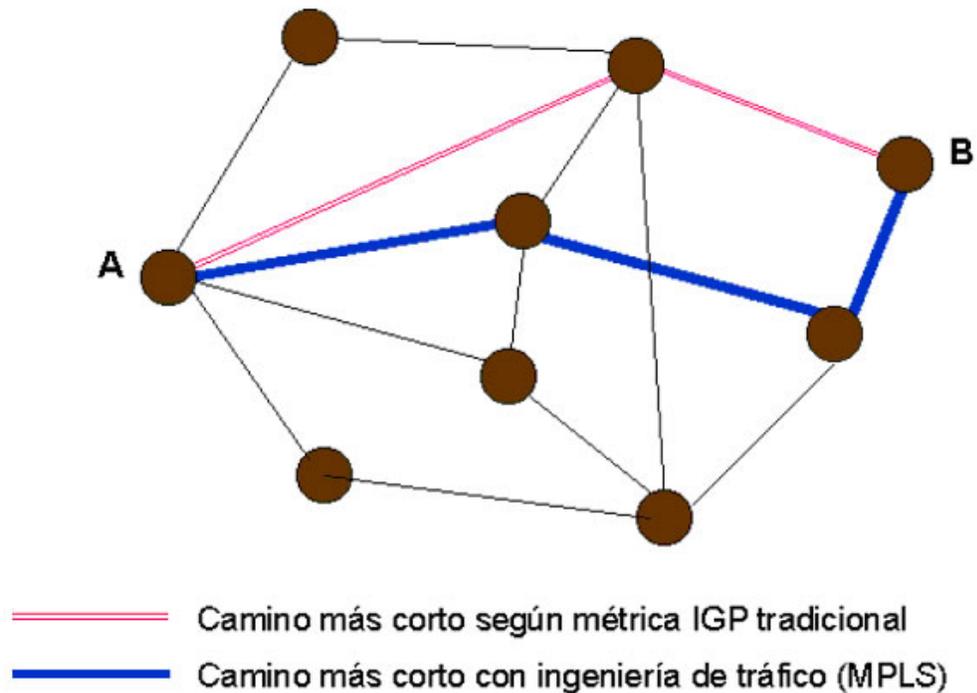
El objetivo básico de la ingeniería de tráfico o TE (Traffic Engineering) es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red. La idea es equilibrar de forma óptima la utilización de esos recursos, de manera de evitar que un subconjunto (enlaces, equipos) de la red se sature mientras otro subconjunto de la misma se encuentra infrautilizado, mejorando el rendimiento de la red global.

La TE permite mover parte del tráfico de datos, desde el camino más corto calculado por los protocolos de enrutamiento (IGP), a otros caminos físicos menos congestionados o menos susceptibles a sufrir fallos. Es decir, se refiere al proceso de seleccionar los caminos que seguirá el flujo de datos con el fin de balancear la carga de tráfico entre todos los enlaces, routers y switches en la red; de modo que ninguno de estos recursos se encuentre infrautilizado o sobrecargado. En casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resolvería añadiendo más capacidad a los enlaces. La TE descrita en la RFC 2702\*, se ha convertido en la principal aplicación de MPLS debido al crecimiento impredecible en la demanda de recursos de red.

---

\* En Internet: [www.ietf.org/rfc/rfc2702.txt](http://www.ietf.org/rfc/rfc2702.txt)

**Figura 25. Comparación entre camino más corto IGP con ingeniería de tráfico.**



El camino más corto entre A y B según la métrica normal IGP es el que tiene sólo dos saltos como se observa en la figura 25, pero puede que el exceso de tráfico sobre esos enlaces hagan aconsejable la utilización del camino alternativo indicado con un salto más (o más saltos también). MPLS es una herramienta efectiva para esta aplicación en grandes backbones, ya que:

- ◆ Permite al administrador de la red el establecimiento de rutas explícitas, especificando el camino físico exacto de un LSP.

- ◆ Permite obtener estadísticas de uso LSP, que se pueden utilizar en la planificación de la red y como herramientas de análisis de cuellos de botella y carga de los enlaces, lo que resulta bastante útil para planes de expansión futura.
- ◆ Permite hacer "enrutamiento restringido" (Constraint-based Routing, CBR), de modo que el administrador de la red pueda seleccionar determinadas rutas para servicios especiales (distintos niveles de calidad).

La ventaja de la ingeniería de tráfico MPLS es que se puede hacer directamente sobre una red IP, al margen de que haya o no una infraestructura ATM por debajo, todo ello de manera más flexible y con menores costes de planificación y gestión para el administrador, y con mayor calidad de servicio para los clientes. En IP las posibilidades de hacer TE son muy complicadas debido al cambio de peso en los enlaces y al PBR (Policy Based Routing). Estas soluciones son poco escalables y hay que modificarlas en caso de que se produzca algún cambio en la red.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el protocolo LDP no tiene capacidad de ingeniería de tráfico ya que siempre le hace caso al protocolo de enrutamiento. Para esta función, MPLS utiliza otro protocolo, el RSVP-TE que permite reservar

ancho de banda. Además, con RSVP-TE se configura un LSP y no se genera automáticamente una malla de LSP como con el protocolo LDP.

Las capacidades de TE de MPLS son:

- ◆ Permite reservar recursos (Ancho de banda)
- ◆ Elegir que enlaces usar
- ◆ Elegir que enlaces excluir
- ◆ Elegir que nodos usar
- ◆ Elegir que nodos excluir
- ◆ Prioridades de los LSP.

## **5.2. CALIDAD DE SERVICIO (QoS)**

Actualmente en las redes de datos está cobrando una gran importancia el tema de la Calidad de Servicio (QoS). Se define QoS como la capacidad de un operador de servicios para soportar los requisitos de las aplicaciones de usuario con respecto a: Provisión de ancho de banda, Latencia o Retardo, Jitter y Pérdida de datos. De esta forma se puede priorizar cierto tipo de tráfico sobre el resto.

La QoS se usa para: Minimizar los retardos para el tráfico de voz, Priorizar el tráfico de clientes VIPs, Permitir que en caso de congestión circule cierto tipo de tráfico y Mantener siempre operativo el tráfico de gestión. Existen dos modelos de QoS:

- ◆ **Int-Serv:** Este modelo reserva recursos para cada sesión utilizando el protocolo RSVP. Se usa poco ya que carga mucho las líneas con tráfico de gestión y mantenimiento.
  
- ◆ **Diff-Serv:** No usa ningún protocolo. Trata de diferente forma el tráfico en función de cómo venga marcado. Las operaciones básicas de Diff-Serv son:
  - ✘ Clasificación: Se hace en función del marcado de cada paquete.
  
  - ✘ Marcado: Para tratar tráfico de manera diferenciada.
  
  - ✘ Rate Limiting: Limita la velocidad binaria de cierto tipo de tráfico. Puede ser: Policing (Descarta el tráfico que excede los límites) y Shaping (Encola el tráfico excedente).

- ✘ Evitar la congestión: Tira tráfico TCP de forma inteligente para “educar” a los emisores.
  
- ✘ Gestión de la congestión: No todo el tráfico debe ser tratado igual, aquí se definen las políticas de cómo servir a cada tipo de tráfico.

Todas las técnicas anteriores son comunes a IP y MPLS, pero la diferencia radica en la forma de diferenciar el tráfico (Clasificación y Marcado). El resto de las técnicas están disponibles en ambas tecnologías. MPLS se diseñó con el objetivo de proporcionar calidad de servicio (QoS), para lo cual se usa el campo EXP de la cabecera MPLS que inicialmente se dimensionó para soportar los 3 bits del Standard de IP precedente. En estas circunstancias, aparentemente IP y MPLS tienen las mismas capacidades de QoS, pero ahora IP utiliza el estándar DSCP que usa 6 bits lo que nos lleva a la pregunta ¿IP mejor que MPLS?.

Se han estandarizado técnicas para dotar a MPLS de las capacidades de QoS de IP aunque solo tiene 3 bits de marcado, que es menor que los 6 de IP. Pero para clasificar en MPLS, además de esos bits, es posible lanzar varios LSP en paralelo y clasificar en función de estos, con posibilidades ilimitadas. Realmente las capacidades de QoS de MPLS son muy superiores a las de IP.

En cuanto a los LSP se han definido dos tipos:

- ◆ **E-LSP:** Este tipo de LSP usa el campo EXP para indicar distintos tipos de tráfico y QoS que viene dada por su valor. Las operaciones de clasificación y marcado dependen de este campo.
- ◆ **L-LSP:** En este caso, el campo EXP se ignora. El tratamiento del paquete viene dado únicamente por el valor de la etiqueta\*.

### 5.3. SOPORTE A CLASES DE SERVICIO (CoS)

La filosofía de una red orientada a ofrecer Calidad de Servicio se basa en la agrupación de los distintos Tipos de Tráfico en un cierto número de Clases de Servicio, con diferentes prioridades. Los paquetes pertenecientes a una misma Clase de Servicio tienen en común los mismos requerimientos de tratamiento en cuanto a ancho de banda necesario, retardo, variación del retardo (*jitter*) y pérdida de paquetes, es decir, de Calidad de Servicio (QoS).

---

\* A día de hoy, el método E-LSP está estandarizado. L-LSP existe en versiones propietarias, pero aún no es un estándar su forma de procesar este tipo de LSP

MPLS se adapta perfectamente a ese modelo, ya que las etiquetas MPLS tienen el campo EXP para poder propagar la clase de servicio CoS en el correspondiente LSP. De este modo, una red MPLS puede transportar distintas clases de tráfico, ya que: El tráfico que fluye a través de un determinado LSP se puede asignar a diferentes colas de salida en los diferentes saltos LSR, de acuerdo con la información contenida en los bits del campo EXP.

La capacidad de poder asegurar que un paquete en concreto recibirá, a lo largo de todo el dominio, el tratamiento requerido, se apoya en dos posibilidades, ambas estandarizadas por el IETF:

- ◆ IntServ (Integrated Services): apoyándose en RSVP, se reservan los recursos necesarios asociándose a LSPs concretos.
- ◆ DiffServ (Differentiated Services): orientado al tráfico IP, basa su funcionamiento en la clasificación del tráfico a la entrada de la red y en la asignación de prioridades a estos tipos de tráfico mediante el Campo de 8 bits DSCP (DiffServ Code Point), campo ToS (Type of Service) en IPv4 y Clase de Tráfico en IPv6. En función de este campo, cada nodo intermedio tratará el paquete de la forma adecuada. A este comportamiento se le denomina PHB (Per Hop Behaviour),

implementado mediante diferentes algoritmos de colas como PQ (Priority Queuing), WPQ (Weighted Priority Queuing) o WRR (Weighted Round Robin) entre otros. DiffServ permite diferenciar servicios tradicionales tales como el WWW, el correo electrónico o la transferencia de ficheros (para los que el retardo no es crítico), de otras aplicaciones mucho más dependientes del retardo y de la variación del mismo, como son las de video y voz interactiva.

#### **5.4. REDES PRIVADAS VIRTUALES (VPN)**

Una red privada virtual (VPN) se construye basada en conexiones realizadas sobre una infraestructura compartida, con funcionalidades de red y de seguridad equivalentes a las que se obtienen con una red privada. El objetivo de las VPNs es el soporte de aplicaciones intra/extranet, integrando aplicaciones multimedia de voz, datos y video sobre infraestructuras de comunicaciones eficaces y rentables. La seguridad supone aislamiento, y "privada" indica que el usuario "cree" que posee los enlaces. Entre las ventajas de las RPV podemos citar: Control y fiabilidad de la red, Posibilidad de dar servicios de seguridad (privacidad, confidencialidad, autenticación.), La gestión de servicio puede ser delegada en el operador o proveedor de servicio.

Las principales características\* de una VPN son:

- ◆ Escalabilidad: debe ser capaz de asumir cambios de conectividad y capacidad de forma muy ágil. MPLS ofrece conectividad «todos-con-todos», lo que la convierte en una red realmente flexible con unos requerimientos de configuración mínimos a la hora de añadir un nuevo extremo a la VPN, pues sólo hay que configurar el nuevo extremo, sin tener que tocar la configuración del resto de extremos. MPLS evita la complejidad de los túneles y PVCs.
- ◆ Seguridad: debe asegurar que el tráfico de cada cliente es confidencial; ningún usuario ajeno a la VPN debe ser capaz de acceder a la información que viaja por ésta. La seguridad de una VPN MPLS es comparable a la de FR o ATM.
- ◆ QoS: debe asegurar la priorización del tráfico crítico o sensible al retardo sin despreciar tampoco el resto del tráfico gestionando el ancho de banda asignado a cada tipo de tráfico. MPLS soporta la diferenciación de tráfico de una forma estandarizada y permite garantizar SLAs para dichos tipos de tráfico, pudiéndose implementar herramientas, incluso vía web, que

---

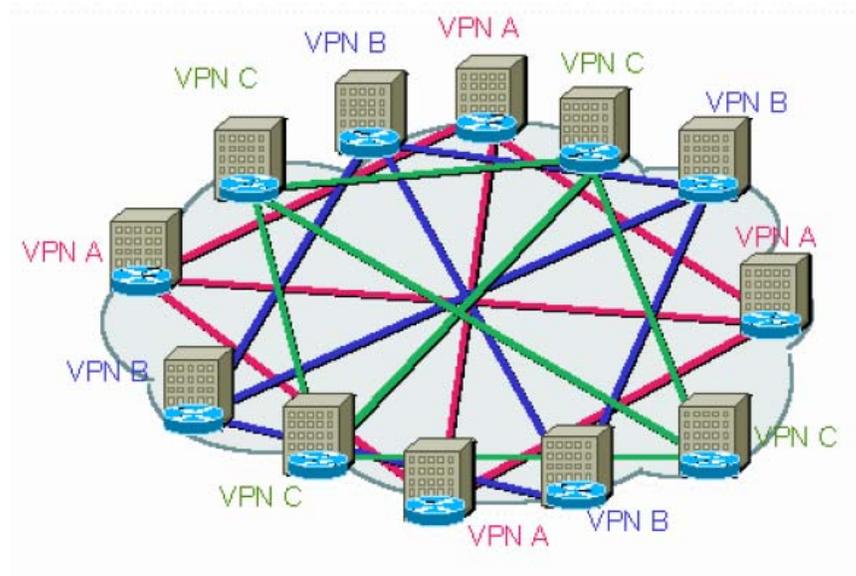
\* Artículo “MPLS: Convergencia entre el Nivel de transmisión y el Nivel de Enrutamiento”. En internet: [www.coitt.es/antena/pdf/150/11b\\_internet.pdf](http://www.coitt.es/antena/pdf/150/11b_internet.pdf)

permitan a los usuarios controlar el funcionamiento de su red en todo momento.

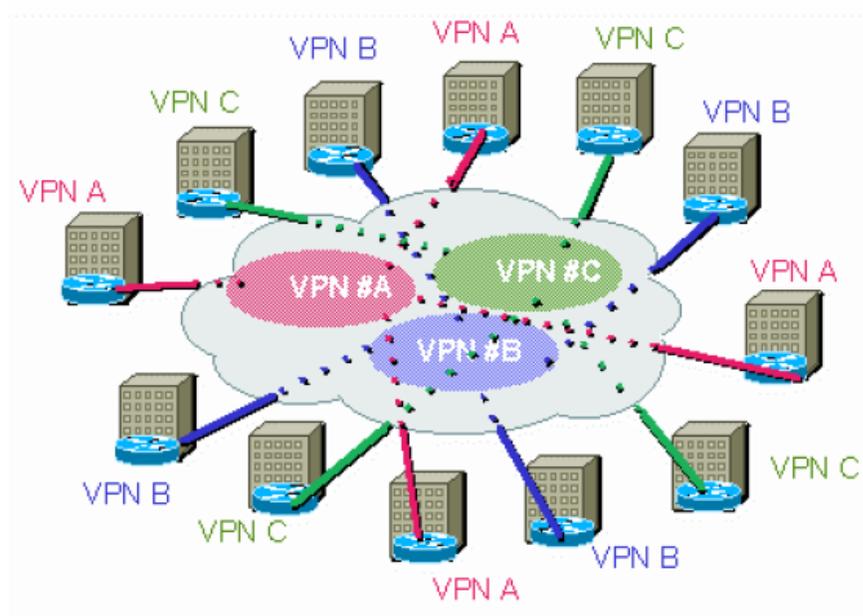
- ◆ **Gestión:** una VPN con una gestión ágil y eficiente resulta imprescindible para poder cumplir con los objetivos anteriores y alcanzar unos SLAs competitivos. La posibilidad de aplicar técnicas de Ingeniería de Tráfico es la herramienta básica para la gestión en una red MPLS.
- ◆ **Fiabilidad:** es indispensable para poder prever y garantizar una gran disponibilidad del servicio. La red MPLS «sabe» de la existencia de una VPN, ya que se trata de un modelo acoplado y no superpuesto.

En las figuras 26 y 27 se presenta una comparación entre el modelo superpuesto (túneles IPsec o PVCs) y el modelo Acoplado (MPLS).

**Figura 26. Modelos Superpuesto (Túneles IPsec o PVCs)**



**Figura 27. Modelo Acoplado (MPLS)**



En el modelo superpuesto la topología física existente se basa en túneles extremos a extremo (o circuitos virtuales) entre cada par de enrutadores de cliente en cada VPN. De ahí las desventajas en cuanto a la poca flexibilidad en la provisión y gestión del servicio, así como en el crecimiento cuando se quieren añadir nuevos emplazamientos. En el modelo acoplado MPLS, en lugar de conexiones extremo a extremo entre los distintos emplazamientos de una VPN, lo que hay son conexiones IP a una "nube común" en las que solamente pueden entrar los miembros de la misma VPN. Las "nubes" que representan las distintas VPNs que se implementan mediante los caminos LSPs creados por el mecanismo de intercambio de etiquetas MPLS. Los LSPs son similares a los túneles en cuanto a que la red transporta los paquetes del usuario (incluyendo las cabeceras) sin examinar el contenido, a base de encapsularlos sobre otro protocolo. Aquí está la diferencia: en los túneles se utiliza el encaminamiento convencional IP para transportar la información del usuario, mientras que en MPLS esta información se transporta sobre el mecanismo de intercambio de etiquetas, que no ve para nada el proceso de enrutamiento IP. Sin embargo, sí se mantiene en todo momento la visibilidad IP hacia el usuario, que no sabe nada de rutas MPLS sino que ve un Internet privado (intranet) entre los miembros de su VPN. De este modo, se pueden aplicar técnicas QoS basadas en el examen de la cabecera IP, que la red MPLS podrá propagar hasta el destino, pudiendo así reservar ancho de banda, priorizar aplicaciones, establecer CoS y optimizar los recursos de la red con técnicas de ingeniería de tráfico.

Una RPV basada en MPLS ofrece los siguientes beneficios\*:

- ◆ Facilidad en la creación de RPV y escalabilidad de la red (Evita las mallas IP + ATM o de túneles). MPLS proporciona una plataforma para el rápido desarrollo de servicios IP de valor agregado, incluyendo intranets, extranets, voz, multimedia y comercio electrónico. Efectivamente, por ser una arquitectura no orientada a conexión, no son necesarias topologías o mapas de conexión punto a punto específicos, permitiendo la creación de RPV en el nivel de red y eliminando la necesidad de túneles o circuitos virtuales. Cuando se gestiona la red de esta forma se pueden añadir usuarios a las intranets y extranets y crear grupos cerrados, con lo que se optimiza la flexibilidad en la creación de intranets y extranets. Del lado del usuario final, las sesiones se establecen con el enrutador del proveedor, no con los de otros usuarios; no es tampoco necesario soportar MPLS en los enrutadores del cliente ni modificación alguna en su intranet.
- ◆ Mejora la interoperabilidad (Independencia de protocolo) y eficiencia de la red al integrar sin fisuras los niveles 2 y 3. Las RPV con MPLS son únicas para el proveedor de servicios porque se pueden construir sobre cualquier arquitectura de red, incluyendo IP, ATM, Frame Relay y redes híbridas.

---

\* BORGES, Luis. Curso de Convergencia en Telefonía y Voz Sobre IP. Modulo 4: Protocolos y Aplicaciones. UIT: 2001

Puede ser puente entre accesos IP y tránsito ATM, facilitando el tránsito de paquetes por los enrutadores mediante modelos de conmutación de capa 2 y acelerando el tráfico de paquetes, al no necesitar un análisis del campo de dirección para su envío dentro del dominio MPLS. Se pueden establecer conexiones según clase de servicio proporcionado por el campo EXP.

- ◆ Privacidad y seguridad: Los usuarios de una RPV específica no puede acceder a otras RPV, pese a que internamente los sistemas estén compartidos. Esta separación de tráfico es inherente a MPLS y por tanto se obtiene incluso sin empleo de túneles ni encriptación. Las RPV basadas en MPLS ofrecen el mismo nivel de seguridad que las redes basadas en Frame Relay o ATM.

Permite mantener garantías QoS extremo a extremo, pudiendo separar flujos de tráfico por aplicaciones en diferentes clases, gracias al vínculo que mantienen el campo EXP de las etiquetas MPLS con las clases definidas a la entrada.

## CONCLUSIONES

---

En el momento actual, todos los proveedores de servicios de red (NSPs), tienen ante sí el enorme reto de gestionar redes cada vez más complejas y extensas, con una mayor gama de servicios y con creciente demanda de ancho de banda, calidad y garantías.

MPLS es el último paso en la evolución de las tecnologías de conmutación multinivel (o conmutación IP). La idea básica de separar el envío de los datos (mediante el algoritmo de intercambio de etiquetas) de los procedimientos de encaminamiento estándar IP, ha llevado a un acercamiento de las capas 2 y 3 del modelo OSI, produciendo beneficios en cuanto a rendimiento y flexibilidad de esta arquitectura.

Como MPLS es una integración de las tecnologías de capa 3 y de capa 2, permite la aplicación de Ingeniería de Tráfico (TE), cuyo objetivo básico es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red. La Ingeniería de Tráfico consiste en trasladar determinados flujos seleccionados por el algoritmo IGP que trabajan sobre enlaces congestionados a otros enlaces más descargados aunque no cumplan con el algoritmo de ruta más corta. También aparece como posible

solución para proporcionar QoS a una red global que soporte todo tipo de tráfico. Es una solución con grandes posibilidades de éxito debido a la facilidad a la hora de migrar una red actual (Frame Relay, ATM, Ethernet ) a MPLS, siendo el primer paso la coexistencia entre ellas mediante software añadido a equipos actuales.

El hecho de que MPLS intercambie etiquetas en vez de la interpretación y el procesamiento de todo un encabezado IP en cada salto, provee una mejor manera de enviar paquetes, lo que al mismo tiempo ofrece la oportunidad de enviar flujos de tráfico a una mayor velocidad.

Una importante ventaja de una red única es la simplificación en cuanto a la administración, sobre la cual se pueden crear tantas redes virtuales como sea necesario. Esto facilitará enormemente la labor a los proveedores de servicio al tiempo que les permitirá ofrecer servicios de valor añadido, pues es lo que en definitiva acabará marcando la diferencia entre ellos. Actualmente ya hay operadores migrando a esta solución como es el caso de, Cable & Wireless, Equant, Genuity y MCI World-Com.

Los fabricantes también se han volcado de lleno en el desarrollo del software necesario para la migración y del equipamiento propio de MPLS. Tanto CISCO como Nortel Networks, Juniper Networks y Nokia, entre otros, disponen de grupos de trabajo especializados desarrollando este nuevo estándar. Éste es el punto

clave para que los proveedores de servicio puedan comprobar la aceptación de MPLS en el mercado, dando así el primer paso hacia una nueva etapa para las redes de comunicaciones.

MPLS abre a los proveedores IP la oportunidad de ofrecer nuevos servicios que no son posibles con las técnicas actuales de encaminamiento IP (típicamente limitadas a encaminar por dirección de destino). Además de poder hacer ingeniería de tráfico IP, MPLS permite mantener clases de servicio y soporta con gran eficacia la creación de VPNs. Por todo ello, MPLS aparece ahora como la gran promesa y esperanza para poder mantener el ritmo actual de crecimiento de la Internet.

## BIBLIOGRAFIA

---

TANENBAUM, Andrew S. Redes de Computadores. 4 ed. México: Editorial Person Education, 1998. 450 p.

Cisco Systems. Cisco Internetworking Technologies Handbook. 3 ed. Cisco Press 2001. p 433 – 441.

Ford, Merliee. Tecnologías de Interconectividad de redes. Cisco Systems. México: Editorial Pentrice Hall, 1998. 716 p.

CHAWES ROCHA, CESID. Conmutación en Redes de Banda Ancha. MPLS Multiprotocol Label Switching. En: Curso en Telecomunicaciones. Bogota: Asociación Colombiana de Ingenieros, ACIEM e IDEC, 2004. 84 p.

Protocolo de Encaminamiento OSPF [online]. Madrid, España: Juan Ignacio Jiménez Cuesta, 2000. En Internet: [www.solont.com/z-net/ospf/ospf.htm](http://www.solont.com/z-net/ospf/ospf.htm)

Protocolos de Encaminamiento [online]. España: Ministerio de Educación, cultura y deporte. Centro Nacional de Información y Comunicación Educativa Madrid CNICE, 2001. Última actualización: 2003. Disponible en Internet: [www.cnice.mecd.es/tecnologica/experto/protocolos/](http://www.cnice.mecd.es/tecnologica/experto/protocolos/)

IETF, Grupo de Network Working. RFC 3031 Session Announcement Protocol (on line). Disponible en Internet: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt> “Documento publicado por el IETF por medio del grupo de trabajo de red, donde se definen las características de la arquitectura desarrollada por ellos MPLS”.

IETF, Grupo de Network Working. RFC 3032 Session Announcement Protocol (on line). Disponible en Internet: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3032.txt> “Documento publicado por el IETF por medio del grupo de trabajo de red, donde se definen la Codificación de la Pila de Etiquetas MPLS”.

IETF, Grupo de Network Working. RFC 2702 Session Announcement Protocol (on line). Disponible en Internet: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2702.txt> “Documento publicado por el IETF por medio del grupo de trabajo de red, donde se definen los Requerimientos de Ingeniería de Trafico sobre MPLS”.

COMER, Douglas. Redes Globales de Información con Internet y TCP/IP. 3 ed. México: Prentice Hall, 1996.

MPLS “Multiprotocol Label Switching”: Una arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI. María Sol Canalis. Departamento de Informática. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. Argentina. En Internet: [www.red-mpls.udg.es/presentaciones/rpv\\_mpls.pdf](http://www.red-mpls.udg.es/presentaciones/rpv_mpls.pdf)

MPLS: Convergencia entre el Nivel de Transmisión y el Nivel de Enrutamiento.  
Ana Gonzáles. Publicado en la Revista Antena de Telecomunicación, Diciembre  
2002. En Internet: [www.coit.es/antena/pdf/150/11b\\_Internet.pdf](http://www.coit.es/antena/pdf/150/11b_Internet.pdf)

#### POSITIONING-MPLS

[http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/iosw/prodlit/posiw\\_wp.pdf](http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/iosw/prodlit/posiw_wp.pdf) (JULIO/2002)

MPLS “Class of Service”. En Internet:

[http://www.cisco.com/en/US/about/ac123/ac147/ac174/ac180/about\\_cisco\\_ipj\\_archive\\_article09186a00800c83a3.html](http://www.cisco.com/en/US/about/ac123/ac147/ac174/ac180/about_cisco_ipj_archive_article09186a00800c83a3.html)

IETF. “Charter IETF sobre MPLS”

<http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>

International Engineering Consortium. “MPLS Tutorial”

<http://www.iec.org/online/tutorials/mpls/.2003>.

# **A N E X O S**





**Anexo A.**

**ESPECIFICACION TECNICA DE EQUIPOPOS USADOS EN UNA RED MPLS**

---

---

**Anexo B.**

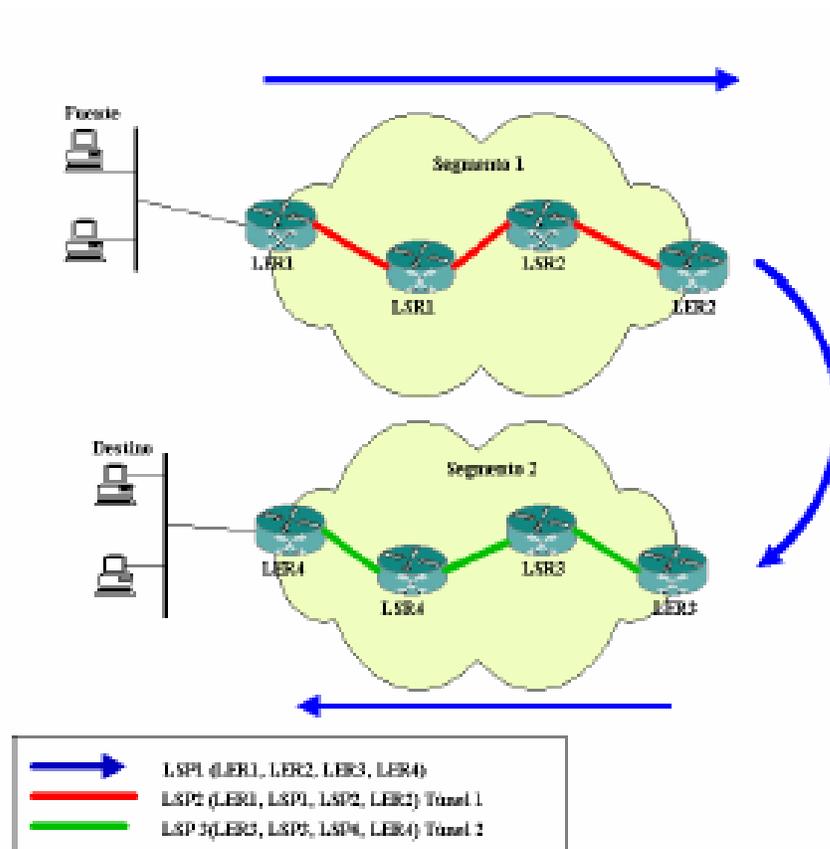
**EJEMPLO DE TUNNELING EN MPLS**

---

---

## TUNNELING EN MPLS

En la Figura A.1 observamos un ejemplo de lo que MPLS plantea como *tunneling*, tenemos dos segmentos de la red MPLS, y las trayectorias que se establecen para enviar paquetes desde la fuente hasta el destino. Los 4 LERs usan un BGP para crear LSPs entre ellos. El LER1 descubre que LER2 es su siguiente destino, así como LER2 tiene a LER3 como su siguiente salto y como LER4 lo es para LER3.



En cuanto LER1 empieza a mandar datos a LER2, se crea el primer túnel entre ambos LERs. Entonces, se crea una LSP2 alterna (túnel) de LER1 a LER2 que abarca los LSRs 1 y 2. Las etiquetas en esta trayectoria son diferentes de las que se crearon para la trayectoria LSP1 (LER1-LER4) general. Lo mismo pasa para el caso de la trayectoria creada entre LER3 y LER4, que es LSP3.

Es en estos casos es que cobra importancia el concepto de la pila de etiquetas, ya que es la que se encarga de acarrear las etiquetas que se acumulan al pasar el paquete por diferentes segmentos de red. En el caso del ejemplo, se tiene que un paquete que viaja a través de LSP1, LSP2 y LSP3, acarreará 2 etiquetas, una para el túnel y una para la trayectoria general. Cuando viaja por LSP2, se tiene una etiqueta para LSP1 y una para LSP2, y cuando viaja por LSP3, se tiene una etiqueta para LSP1 y una para LSP3. Cuando LER3 recibe un paquete proveniente de LSP2, remueve la etiqueta correspondiente a esa trayectoria y la cambia por la correspondiente a LSP3, mientras la etiqueta de LSP1 es intercambiada por la correspondiente al siguiente salto. Cuando LER4 recibe un paquete, remueve ambas etiquetas para así poder enviar el paquete a su destino final.

**Anexo C.**

**RESUMEN MENSAJES PROTOCOLO LDP**

---

---

## RESUMEN MENSAJES LDP

- ◆ **Label Request:** Mensaje utilizado por un LSR upstream para explícitamente solicitarle al LSR downstream que le asigne una etiqueta para un FEC.
- ◆ **Label Withdraw:** Enviado por un LSR a un LDP par para informarle que podría no seguir utilizando la correspondiente etiqueta FEC que el LSR había anunciado previamente. Este mensaje finaliza la correspondencia (mapeo) entre los FECs y las etiquetas.
- ◆ **Label Release:** Enviado por un LSR a un LDP par para indicarle que el LSR no necesita mas la correspondencia FEC-Etiqueta previamente solicitada y/o anunciada por el par.
- ◆ **TLVs para Extensibilidad:** El soporte para la extensibilidad LDP incluye las reglas para los bits U y F que especifican como un LSR debe manejar mensajes TLVs desconocidos. Se especifica mensajes TLVs para uso experimental y proveedores privados.

- ◆ **Extensiones para LDP Vendor – Private:** Mensajes y TLVs que se usan para transmitir información entre LSRs.
  
- ◆ **Notification:** Un LSR envía este mensaje para informar a un LDP extremo o pareja de un evento significativo como un “error fatal” o proporcionar información de “anuncios” tal como un mensaje de LDP “resultado de un proceso” o el estado de una sesión LDP.
  
- ◆ **Hello:** Mensajes LDP intercambiados como parte del mecanismo “Discovery” LDP para encontrar el par extremo correspondiente.
  
- ◆ **Initialization:** Mensaje intercambiado como parte de los procedimientos de establecimiento LDP.
  
- ◆ **KeepAlive:** Mensaje enviado por un LSR como parte del mecanismo que monitorea la integridad de la conexión de la sesión de transporte.
  
- ◆ **Address Withdraw:** Enviado por un LSR a un LDP para extraer la dirección de la interfaz previamente anunciada.
  
- ◆ **Label Mapping:** Enviado por un LSR a un LDP para informarle cual es el grupo de etiquetas FEC.