

# Extensión de los métodos Hop-by-Hop, CR-LDP y RSVP-TE para Multicast IP sobre MPLS<sup>1</sup>

**Yezid Donoso Meisel**

Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

[ydonoso@uninorte.edu.co](mailto:ydonoso@uninorte.edu.co)

**Ramon Fabregat, Jose Luis Marzo, Eusebi Calle**

Instituto de Informática y Aplicaciones, Universitat de Girona

Av. Lluís Santaló, s/n, 17071 Girona, Spain

{ramon@eia.udg.es, marzo@eia.udg.es, eusebi@eia.udg.es }

## Abstract

This article presents the functioning of IP multicast working on MPLS for the traffic without quality of service requirements through the hop-by-hop method extended for multicast and for the traffic with quality of services (QoS) requirements through reserve of resources with traffic engineering protocols extended the signaling for multicast such as CR-LDP and RSVP-TE. Finally, the behavior of both methods is showed through simulation by analyzing the delay like parameter of QoS when a multicast of video stream or videoconference is carried out.

**Keywords:** MPLS, Multicast IP, QoS

## Resumen

En este artículo se presentan el funcionamiento de Multicast IP trabajando sobre MPLS para el tráfico sin calidad de servicio a través de la extensión para multicast del método hop-by-hop y para el tráfico con requerimientos de calidad de servicio mediante la reserva de recursos a través de la extensión para multicast de los protocolos de señalización CR-LDP y RSVP-TE. Finalmente, se muestra el comportamiento de la transmisión multicast sobre MPLS sin y con calidad de servicio y se analiza el retardo como parámetro de QoS cuando se requiere transmitir aplicaciones multicast como video stream o videoconferencia.

**Palabras claves:** MPLS, Multidifusión IP, QoS

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la CICYT TEL-99-0976. El trabajo de Yezid Donoso está soportado por la Universidad del Norte (Colombia).

Las nuevas aplicaciones que están surgiendo en Internet han producido un aumento de la necesidad de transmitir información desde un origen a múltiples destinos (multidifusión o multicast) y que esta transmisión se haga garantizando ciertos parámetros de Calidad de Servicio (QoS), por ejemplo, el retardo máximo y el número de paquetes que pueden ser descartados sin afectar a la calidad de la transmisión de la información. Esta QoS no puede ser asegurada por los protocolos TCP/IP, por lo que se han desarrollado diferentes tecnologías para superar este inconveniente, entre ellas RSVP y MPLS. RSVP (Resource Reservation Protocol) [9] es un protocolo de señalización que para un flujo específico reserva recursos a lo largo de un camino entre el nodo origen y el nodo destino lo que le permite garantizar la QoS.

La esencia de MPLS (Multiprotocol Label Switching) [3] es la generación de pequeñas etiquetas de longitud fija que actúan como una representación de la cabecera del paquete IP. Los paquetes IP tienen un campo en la cabecera que contiene la dirección a la que el paquete debe ser enviado. Las redes de encaminamiento tradicionales procesan esta información en cada uno de los encaminadores que atraviesa el paquete (encaminamiento hop-by-hop). En MPLS, los paquetes IP son encapsulados con estas etiquetas por el primer dispositivo MPLS que encuentre al entrar en la red. Este dispositivo, que recibe el nombre de LER (Label Edge Router), analiza el contenido de la cabecera IP y selecciona una etiqueta apropiada con la cual encapsular el paquete. Una parte del gran poder de MPLS se debe al hecho de que, en contraste con el encaminamiento IP tradicional, este análisis puede ser basado en algo más que la dirección de destino que hay en la cabecera IP. En todos los nodos subsiguientes de la red, la etiqueta MPLS (y no la cabecera IP) es usada para decidir por donde se envía el paquete. Finalmente, cuando los paquetes MPLS abandonan la red, otro LER elimina las etiquetas.

Además a MPLS se le ha especificado el funcionamiento de los protocolos de señalización CR-LDP (Constraint-Route Label Distribution Protocol) [13] y RSVP-TE (Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering) [6] para asegurar parámetros de QoS, como por ejemplo, la reserva de recursos y el retardo máximo para un flujo de información. Todas estas herramientas hacen de MPLS un protocolo eficaz para resolver problemas de ingeniería

Este artículo se centra en el problema de la multidifusión IP sobre MPLS para aplicaciones en las que es necesario asegurar un retardo máximo y una cantidad máxima de paquetes descartados en la transmisión desde el origen hasta los múltiples destinos del grupo (por ejemplo video stream o videoconferencia). Esto se logra extendiendo los protocolos de señalización para la transmisión de paquetes IP sobre MPLS. En el caso de la transmisión sin QoS, para establecer los LSPs (Label Switch Path), se puede utilizar cualquiera de los protocolos de enrutamiento multidifusión IP más una señalización sin garantías de QoS, como RSVP o LDP (Label Distribution Protocol). Para la transmisión con QoS, CR-LDP y RSVP-TE son usados como protocolos de señalización.

En el apartado 2 se comentan algunos trabajos relacionados. En el apartado 3 se presenta una propuesta de funcionamiento de multidifusión IP sobre MPLS sin QoS a través del uso del método Hop-by-Hop [3]. En el apartado 4 se presenta una propuesta de funcionamiento de multidifusión IP sobre MPLS con QoS empleando el retardo 5 las propuestas presentadas en los apartados anteriores se comparan mediante simulación. En el último apartado se mencionan las conclusiones y algunos posibles trabajos con los que se pueden continuar la investigación.

## **2. Trabajos relacionados**

En [15] y [16] se están trabajando diferentes tópicos acerca de multidifusión sobre MPLS. En [16] se presenta un marco de trabajo para la definición de la transmisión multidifusión sobre MPLS y una taxonomía del funcionamiento de los protocolos multidifusión IP en el contexto de MPLS, se comentan las características que deben tener los diferentes métodos para la distribución de etiquetas y como se puede realizar la aplicación de DiffServ, IntServ y RSVP en MPLS. Algunos de los aspectos definidos en [16] ya fueron comentados en [15]. Cuando se quiere llevar a cabo la transmisión de información en una red IP, esta transmisión debe realizarse sobre una tecnología de segundo nivel (tal como ATM, Frame Relay, PPP, Ethernet, etc.) y MPLS actúa como integración entre el tercer nivel IP con el segundo nivel. En estos trabajos se comentan algunos problemas que presentan esta integración: la cantidad de etiquetas es limitada, hay una mezcla de tecnologías de segundo nivel y

las tecnologías de segundo nivel no soportan las funciones de decremento del campo TTL. Debido a las limitaciones presentadas anteriormente, es necesario cambiar las especificaciones dadas para MPLS unicast para que puedan ser utilizadas para MPLS multidifusión. Algunos aspectos que se mencionan que hay que tener en cuenta son: agregación, flood y prune, coexistencia de árboles basados en origen y árboles compartidos, árboles compartidos Uni/Bi-direccionales, encapsulamiento de datos multicast y que el árbol sea libre de ciclos.

Por otra parte, las nuevas tendencias de ingeniería de tráfico tratan de especificar métodos que optimicen los recursos de la red tales como el ancho de banda global disponible y el balanceo de carga óptima. En [15] se describen las características de funcionalidad cuando MPLS es aplicado a la transmisión de paquetes multidifusión y se realiza una propuesta utilizando un disparador de eventos para el manejo de tráfico de datos llamado MFC (Multicast Forwarding Cache), en vez de la tabla MRT (Multicast Routing Table). La tabla almacenada en el MFC es un subconjunto de la tabla MRT. Cuando al nodo le llega una petición de transmisión hacia un grupo multidifusión y esta información no se encuentra en la tabla MFC, se realiza una petición de información a la tabla MRT. Con este funcionamiento se consigue una menor utilización de etiquetas en cada nodo.

En el draft [10] se presenta una extensión del protocolo RSVP-TE [6] para aplicarlo a la transmisión de información multidifusión IP. Se definen nuevos objetos a los mensajes de señalización para establecer el árbol de etiquetas a cada uno de los destinos del grupo de multidifusión. A los mensajes PATH (realiza la petición de etiquetas), RESV (realiza la devolución del valor de la etiqueta) y HELLO (para reconocimiento de vecinos) se le añaden unos nuevos objetos. En este draft se especifica el funcionamiento para la construcción del árbol multidifusión, ya sea cuando se adiciona un nodo origen o un nodo destino. Además, se está proponiendo habilitar funciones de multidifusión para ser independientes de los tradicionales protocolos de enrutamiento multidifusión tales como: DVMRP, MOSPF, PIM, etc. Sin embargo, el protocolo IGMP (Internet Group Management Protocol) se usará para proveer los mecanismos de establecimiento, mantenimiento y finalización de los equipos dentro de un grupo.

En el artículo [2] se describen las diferencias presentadas entre escoger algún protocolo de enrutamiento multidifusión que trabaje en modo denso o en modo esparcido y se analizan las características y las ventajas de cada uno. Además, también se presenta un método para llevar a cabo la distribución de etiquetas en Multidifusión. Los puntos claves del reenvío de información en MPLS multidifusión son que la actualización en las tablas de enrutamiento genera la creación o destrucción de etiquetas y el establecimiento de etiquetas se lleva a cabo utilizando un protocolo de distribución de etiquetas dedicado (LDP) o un mecanismo piggy-backing aprovechando los mensajes de control de diversos protocolos.

Como consecuencia de esto, las etiquetas son establecidas antes de que cualquier LSR reciba un paquete de información y por lo tanto, los paquetes podrán ser enviados mediante conmutación en el segundo nivel. Sin embargo, a diferencia de los protocolos de enrutamiento unidifusión, en los protocolos de enrutamiento multidifusión dense-mode los árboles son establecidos de acuerdo al flujo de información desde el nodo origen hacia los múltiples destinos y no es posible para la topología hacer agregación de los árboles. Los protocolos sparse-mode pueden hacer combinaciones de árboles basados en el origen y de árboles compartidos, aunque en este caso, no es posible en un enlace del árbol compartido asignar una etiqueta común al tráfico que recibe desde diferentes orígenes. Para llevar a cabo la distribución de etiquetas, en [2] se proponen dos mecanismos para eliminar la distribución de etiquetas a través del mecanismo piggy-backing: distribución de etiquetas por el enlace superior y asignación explícita bajo demanda por el enlace inferior. Además, se comenta que los protocolos dense-mode crean los árboles orientados hacia el manejo de la transmisión de los datos y no se utilizan mensajes de tercer nivel para crear el árbol. Los protocolos sparse-mode crean el árbol a través de mensajes de control del tercer nivel, pero de igual forma tanto los protocolos dense como los sparse no pueden crear agregación de

En el draft [8], se presenta la problemática de que en la transmisión de información multidifusión cada nodo debe conservar el estado para cada grupo al que pertenece o para cada grupo al que debe reenviar algún tráfico de información multidifusión. En este sentido, este draft presenta dos tipos de nodos. El primero es el nodo que tiene conectado directamente algún equipo que pertenece al menos a un grupo multidifusión y el cual debe registrar el estado de cada una de las sesiones multidifusión que pertenecen los equipos que el tiene conectado de forma directa. El segundo tipo de nodo es aquel que no tiene conectado directamente un equipo de algún grupo multidifusión, pero que debe retransmitir al menos algún flujo de información multidifusión debido a que se encuentra funcionando como un nodo intermedio en la ruta desde el nodo origen hasta al menos un nodo de los destinos del grupo. Para este funcionamiento, se propone que este tipo de nodo intermedio no debe registrar el estado de los grupos que esta retransmitiendo hacia algún nodo destino. El esquema de trabajo que propone

consiste en que los nodos que deben registrar el estado de los grupos multidifusión serían los nodos orígenes y los nodos que establecen una conectividad hacia los destinos del grupo con más de una interface de salida. El funcionamiento consiste en que el nodo origen establece una etiqueta multidifusión y procede a registrar el estado del grupo. Una vez ha registrado el estado en cada uno de los nodos intermedios, simplemente realiza en el flujo de información la conmutación de etiquetas unidifusión. Registra en la tabla de conmutación solo el valor de la etiqueta de entrada y le asocia el valor de la etiqueta y de la interface de salida, pero sin registrar ningún estado de los grupos multidifusión. Cuando el flujo de información llega al nodo destino, este simplemente elimina la etiqueta y procede a reenviar la información mediante transmisión de información multidifusión tradicional.

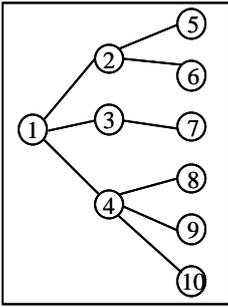
En este apartado se presenta la extensión del método Hop-by-Hop de unidifusión IP sobre MPLS para adaptarlo a la multidifusión. La ruta establecida por el protocolo de enrutamiento IP es la utilizada para establecer las etiquetas del protocolo MPLS.

En [3] se define el LDP (Label Distribution Protocol) para la distribución de etiquetas. Es un conjunto de procedimientos y mensajes con los que los LSRs (Label Switched Routers) establecen los LSPs (Label Switched Path) a través de la red mapeando la información de encaminamiento del nivel de red directamente en los caminos del nivel de enlace de datos. En [7] se proporciona una máquina de estados para el LDP.

La arquitectura propuesta para MPLS soporta dos opciones para la selección de la ruta: encaminamiento hop by hop routing y encaminamiento explícito. El encaminamiento hop by hop permite que cada nodo seleccione independientemente el siguiente salto. Este es el funcionamiento usual de las redes IP existentes. Un LSP encaminado hop by hop es un LSP en el que la ruta es seleccionada utilizando un encaminamiento hop by hop. En un LSP encaminado explícitamente, ningún LSR puede elegir independientemente el siguiente salto; además, un único LSR, generalmente el LSP ingress o el LSP egress, especifica algunos (o todos) los LSRs del LSP. La secuencia de LSRs seguidos por un LSP encaminado explícitamente puede ser seleccionado por configuración, o puede ser seleccionado dinámicamente por un único nodo (por ejemplo, el Egress Node puede utilizar la información topológica aprendida desde una base de datos de estado del enlace para calcular toda la ruta). En MPLS, la ruta explícita debe ser especificada cuando las etiquetas son asignadas, pero la ruta explícita no tiene que ser especificada en cada paquete IP. Esto hace el encaminamiento explícito MPLS mucho más efectivo que el

En trabajos previos realizados [12] se ha visto que el protocolo de multidifusión PIM-DM (Protocol Independent Multicast - Dense Mode) [11] tiene un buen comportamiento en cuanto al retardo que experimentan los paquetes durante la transmisión y a la cantidad de paquetes que son descartados. Por este motivo el protocolo PIM-DM es el utilizado para establecer, en el caso del método Hop-by-Hop, los LSPs (Label Switch Path) [3] desde el origen

1. Inicialmente, los LSR (Label Switch Router) tienen sus tablas de enrutamiento multidifusión IP como resultado de haberse ejecutado un protocolo de enrutamiento (fig. 1). Cualquier transmisión de información que se realice en este momento se lleva a cabo a través de enrutamiento multidifusión IP convencional.

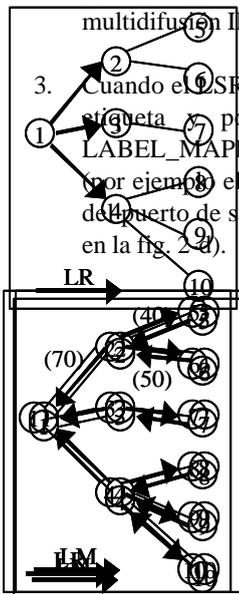


Nodo 1		Tabla Multifusión IP Nodo 2		Tabla Multifusión IP Nodo 5	
Dir. IP Multicast	Nodo Siguiente Salto	Dir. IP Multicast	Nodo Siguiente Salto	Dir. IP Multicast	Nodo Siguiente Salto
IP <sub>G1</sub>	2	IP <sub>G1</sub>	5	IP <sub>G1</sub>	Directo
IP <sub>G1</sub>	3	IP <sub>G1</sub>	6		
IP <sub>G1</sub>	4				

Fig. 1. Topología del árbol de multifusión obtenido por el protocolo PIM-DM y tablas multifusión IP de los nodos N1, N2 y N5 que serán los que utilizaremos en el ejemplo numérico.

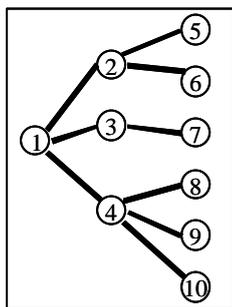
2. A continuación, el Ingress Node (N1) envía un mensaje LABEL\_REQUEST hacia los múltiples destinos del grupo. En el ejemplo de la fig. 2-1 se envía a los nodos N2, N3 y N4. Cada nodo que reciba este LABEL\_REQUEST repetirá el proceso si no es un Egress Node (fig. 2-b). Para llevar a cabo esta función se utilizan los resultados almacenados en la tabla de enrutamiento por el protocolo de enrutamiento multifusión IP.

3. Cuando el LSR que reciba la petición de etiqueta sea un Egress Node (por ejemplo el N5) asigna un valor de etiqueta y por el puerto por donde ingresó el mensaje LABEL\_REQUEST envía el mensaje LABEL\_MAPPING con el valor de la etiqueta asignado (el valor 40 en la fig. 2-c). Cuando un LSR intermedio (por ejemplo el N2) recibe el LABEL\_MAPPING, registra en el LIB la información del valor de la etiqueta y del puerto de salida, así como el valor de etiqueta y del puerto de entrada asignado por este LSR (el valor 70 en la fig. 2-d).



4. Como estamos haciendo multidifusión, un LSR puede enviar varios LABEL\_REQUEST. En este caso, recibe varios LABEL\_MAPPING y por lo tanto en el LIB a una etiqueta de entrada le corresponden más de una etiqueta de salida.
5. Cuando el LSR origen (N1) recibe el mensaje LABEL\_MAPPING debe registrar el valor de la etiqueta en la LIB pero no se establece ni reenvía la etiqueta.
6. Una vez el LSR origen (N1) ha recibido las etiquetas para enviar la información a todos los destinos del grupo, se habrá creado un conjunto de LSPs que forman un árbol de conmutación de etiquetas desde el nodo origen hacia los múltiples destinos (fig. 3).

En este artículo, este conjunto de LSPs serán agrupados en una estructura lógica que denominaremos mLSP (multicast Label Switched Path). Una vez se ha establecido el mLSP se procederá a enviar a los diferentes destinos del Grupo todos los paquetes multidifusión IP a través del protocolo MPLS.



LIB Nodo 1	LIB Nodo 2	LIB Nodo 5
Dir. IP Multicast Etiqueta de Salida Nodo Siguiente Salto	Etiqueta de Entrada Etiqueta de Salida Nodo Siguiente Salto	Etiqueta de Entrada Dir. IP Multicast Nodo Siguiente Salto
IP <sub>G1</sub> 70 2	70 40 5	70 IP <sub>G1</sub> Directo
IP <sub>G1</sub> 80 3	70 50 6	
IP <sub>G1</sub> 90 4		

Fig. 3. mLSP y LIBs de los nodos N1, N2 y N5.

#### 4. Multidifusión IP sobre MPLS con QoS

En las aplicaciones de Video Stream o Videoconferencia multipunto es necesario cumplir los requerimientos de QoS: ancho de banda asignado para el vídeo y tener acotado el retardo máximo para la voz. Para hacer multidifusión con QoS a través de MPLS necesitamos desarrollar dos componentes: un encaminamiento con QoS para determinar la ruta según la métrica considerada (por ejemplo mínimo número de saltos o ancho de banda residual) y un algoritmo de señalización que nos permita reservar los recursos demandados por la petición, por ejemplo CR-LDP [13] [1] [5] o RSVP-TE [6].

En este apartado se propone cómo estos algoritmos se podrían utilizar para la transmisión multidifusión con QoS. En las simulaciones que se presentan en el apartado siguiente, la QoS se obtiene reservando ancho de banda en cada uno de los canales que conforman los distintos LSPs por los que se envía la información.

En el encaminamiento explícito, el LSR origen dispone de la lista de nodos por los que se construirá el ER-LSP. A través de los mensajes de petición de etiquetas (LABEL\_REQUEST) se indican cuales son los nodos que forman parte del LSP en la trayectoria desde el LSR origen hasta el LSR destino. Como en este caso se quiere realizar multidifusión, es necesario especificar, en cada uno de los mensajes LABEL\_REQUEST que se envía a un nodo, aquellas rutas explícitas que pasan por él para alcanzar alguno de los nodos destino.

Los algoritmos de encaminamiento basados en el origen, como IP, pueden, en algunos casos, proporcionar rutas congestionadas cuando otras pueden estar infrautilizadas. MPLS, mediante el encaminamiento explícito, proporciona las herramientas para evitar este tipo de situaciones. A parte de esta característica, podemos utilizar el protocolo de señalización CR-LDP o RSVP-TE ajustado a multidifusión para que los recursos puedan ser reservados a lo largo de distintos LSPs y de esta manera asegurar el QoS.

#### 4.1. CR-LDP multidifusión

En este apartado se presenta la extensión del protocolo de señalización CR-LDP para la transmisión de información multicast con calidad de servicio (QoS). El funcionamiento del protocolo CR-LDP unicast es bastante parecido al del protocolo hop-by-hop unicast pero presenta algunas particularidades:

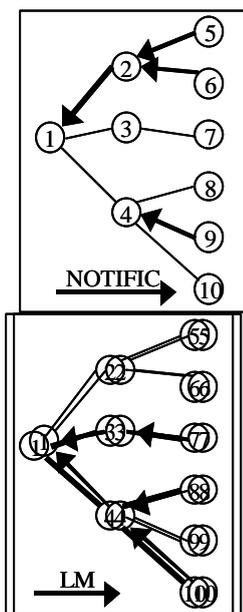
- a. El mensaje LDP\_REQUEST permite especificar explícitamente que rutas van a ser utilizadas.
- b. En las rutas explícitas se pueden reservar recursos. Las características del camino pueden ser descritas en *Peak Data Rate (PDR)*, *Comitted Data Rate (CDR)*, *Peak Burst Size (PBS)*, *Committed Burst Size (CBS)*, *Frecuency* y *Weight*. PDR y CDR describen las restricciones de ancho de banda de la ruta. PBS y CBS determinan tamaños máximos de las trazas. *Frecuency* especifica que tan frecuentemente se garantiza el CDR. *Weight* determina prioridades relativas en cada LSR para múltiples LSPs cuando hay congestión o poco ancho de banda disponible.
- c. Existe también la opción de indicar que los recursos requeridos pueden ser negociables. Cuando un LSR no puede con los recursos existentes satisfacer un parámetro negociable, realiza la reserva de los recursos disponibles y propaga el LDP\_REQUEST con los nuevos valores (evidentemente será un valor menor).

Extensión del protocolo de señalización CR-LDP para multidifusión:

1. El Ingress Node (fig 2-a N1) envía a través de los nodos intermedios (N2, N3 y N4) un LABEL\_REQUEST hacia los múltiples destinos especificando los campos que se van a utilizar como restricciones para la creación de los caminos y cuales de ellas son negociables. Además, en cada LABEL\_REQUEST se especifican las rutas explícitas necesarias para alcanzar el conjunto de nodos destino. Por ejemplo, en el caso de la fig. 2-a, el LABEL\_REQUEST enviado al nodo N2 incluye las dos rutas explícitas para alcanzar los nodos N5 y N6.
2. Cuando el mensaje LABEL\_REQUEST es recibido por un nodo que no es un Egress Node para ese LSP específico, reserva los recursos requeridos para el nuevo LSP y reenvía el mensaje recibido hacia los siguientes nodos. Por ejemplo, en la fig. 2-a, el LABEL\_REQUEST recibido por el nodo N2 es reenviado a los nodos N5 y N6. Si en algún caso no hay suficientes recursos para hacer la reserva y los parámetros han sido marcados como negociables, se realiza la reserva de los recursos disponibles y se reenvía el LABEL\_REQUEST con los nuevos parámetros que tendrán un valor menor. Si no se puede asegurar la reserva de recursos, entonces se envía un mensaje de NOTIFICATION al nodo que ha enviado el LABEL\_REQUEST (fig. 4) para informarle de lo ocurrido.
3. En el caso de CR-LDP para unidifusión, cuando un LSR intermedio recibe un mensaje de NOTIFICATION, debe reenviar este mensaje al nodo anterior y este LSP en concreto no podrá ser establecido. En cambio, como estamos haciendo multidifusión, se pueden presentar varias situaciones dependiendo del número de LABEL\_REQUEST enviados por un nodo y de los mensajes de NOTIFICATION recibidos.
  - a. Por ejemplo (fig. 4-a), el nodo N2 ha enviado dos LABEL\_REQUEST (N5 y N6) y ha recibido dos mensajes de NOTIFICATION por lo que debe reenviar un mensaje de NOTIFICATION al nodo N1. En las tablas de la fig.4 se puede observar que debido a que no han podido ser reservados los recursos necesarios ni establecerse los LSP con destino N5 y N6, las tablas de esos nodos (en concreto N5) y la del nodo (N2) no tienen ninguna entrada.

- b. En cambio, el nodo N4 ha enviado tres mensajes LABEL\_REQUEST y sólo ha recibido un mensaje de NOTIFICATION, por lo que no debe reenviárselo al nodo N1.
4. Cuando el mensaje LABEL\_REQUEST es recibido por un nodo que es un Egress Node (fig. 2-b) para el nuevo LSP, finaliza cualquier negociación de recursos, realiza la reserva para el LSP, establece una nueva etiqueta y la distribuye a los nodos anteriores mediante un mensaje LABEL\_MAPPING (fig. 2-c). Este mensaje contiene los detalles de los parámetros de tráfico reservados para cada LSP. Si el Egress Node no puede asegurar la reserva de recursos, como se hacía en el caso anterior, también envía un mensaje de NOTIFICATION al nodo que ha enviado el LABEL\_REQUEST.

Cuando un LSR intermedio recibe un mensaje LABEL\_MAPPING con un valor de etiqueta, libera aquellos recursos reservados que ya no sean necesarios como resultado de los procesos de negociación, establece una etiqueta para el LSP, configura las entradas en la LIB y mediante un mensaje LABEL\_MAPPING transmite la nueva etiqueta al nodo anterior (fig 2-d). Hay que tener en cuenta que, al estar haciendo multidifusión, un nodo puede recibir varios LABEL\_MAPPING y por lo tanto que en el LIB puede ser que a una etiqueta de entrada le correspondan más de una etiqueta de salida (fig. 4-b).



5. Cuando el Ingress Node (N1) recibe algún mensaje LABEL\_MAPPING registra el valor de la etiqueta en la LIB pero no debe liberar los recursos reservados ni establecer la etiqueta, ni enviar ningún mensaje LABEL\_MAPPING. Evidentemente este nodo también puede recibir varios LABEL\_MAPPING y que el LIB tenga las características mencionadas anteriormente.
6. Una vez se han establecido los LSPs, se procede a enviar la información al grupo mediante MPLS multidifusión con manejo de QoS. El envío de información a través de estos LSPs se realiza conservando los valores de los parámetros reservados en el momento de la creación del LSP.

LIB Nodo 1

Dir. IP Multicast  
Etiqueta de Salida  
Nodo Siguiente Salto

IP<sub>G1</sub>  
70  
2

IP<sub>G1</sub>  
80  
3

IP<sub>G1</sub>  
90  
4

LIB Nodo 2

El protocolo RSVP [9] es un protocolo de reserva de recursos en redes IP desarrollado con el objetivo de hacer que los *host* comuniquen los requerimientos de servicios a la red y los enrutadores puedan establecer un estado de reserva a lo largo de la ruta. Este protocolo permite que varios transmisores transmitan a grupos múltiples de receptores, permite que receptores individuales conmuten canales libremente y perfecciona el uso del ancho de banda eliminando al mismo tiempo el congestionamiento. RSVP opera en el nivel superior de IPv4 o IPv6 ocupando el lugar de un protocolo del nivel transporte según el modelo OSI. Sin embargo, RSVP no transporta datos de aplicación, solamente envía mensajes de señalización para establecer la reserva de recursos.

RSVP-TE [6] es una extensión del protocolo original RSVP diseñado para ejecutar distribución de etiquetas sobre MPLS, además soporta la creación de rutas explícitas con o sin reserva de recursos. Una de las características adicionales más importante de este protocolo es que permite el re-enrutamiento de los túneles LSP, con el fin de dar una solución ante caídas de red, congestión y cuellos de botella [6] [17].

Extensión del protocolo de señalización RSVP-TE para multidifusión:

- El Ingress Node (N1) determina que necesita establecer un nuevo LSP con un conjunto de Egress Nodes. Por medio de las políticas administrativas, el nodo (N1) determina las rutas para los nuevos LSP. Por ejemplo, decide que el nuevo LSP hasta el Egress Node (N5) debe establecerse a través del nodo intermedio (N2). El Ingress Node (N1) es el encargado de construir el mensaje PATH con una ruta explícita de (N2,N3) y con los detalles de los parámetros de tráfico que se piden para la nueva ruta. N1 envía el mensaje PATH, en forma de paquete IP, al nodo (N2) especificado a este nodo como el siguiente salto en la ruta explícita. Además de los parámetros de la ruta, este mensaje PATH contiene el objeto LABEL\_REQUEST para la petición de las etiquetas.
- Los nodos intermedios reciben el mensaje PATH y determinan que no son un Egress Node, por lo que deben reenviar el mensaje PATH a lo largo de la ruta especificada en el mensaje. Este proceso se repite hasta que el nodo que recibe el mensaje PATH sea un Egress Node.
- Los Egress Nodes, para cada uno de los nuevos LSPs, asignan los recursos pedidos y seleccionan una etiqueta para cada una de las rutas. Esta etiqueta se distribuye a través del mensaje RESV por medio del objeto LABEL. Este mensaje se envía por el puerto de ingreso del mensaje PATH.
- Cada nodo intermedio, al recibir el mensaje RESV, determina que recursos debe reservar, guarda una etiqueta para cada LSP y registra en su tabla LIB la información del valor de la etiqueta, el puerto de salida y el puerto de entrada. También envía la nueva etiqueta al nodo anterior utilizando un mensaje RESV.
- El procesamiento en el nodo Ingress Node es parecido al caso anterior, solamente que no envía el mensaje RESV, ni asigna una nueva etiqueta por ser el nodo ingreso del LSP.

Ahora está configurado y establecido el mLSP. Como sucedía en el caso anterior, se hace referencia al conjunto de LSPs establecidos como un mLSP, es decir unos caminos multicast de conmutación de etiquetas.

En principio, esta extensión es similar a la presentada para el CR-LDP sustituyendo los mensajes LABEL\_REQUEST por PATH y LABEL\_MAPPING por RESV. En la extensión comentada anteriormente no se ha considerado la situación en la cual el LSP no pueda ser establecido por “diversos” motivos. En este caso los mensajes utilizados para notificar este problema serían el PATHERR y el RESVERR. Por otra parte, en RSVP-TE la operación de actualización de los mensajes PATH y RESV permitieron descubrir cuales son los enlaces que se encuentran activos. Sin embargo, ésta no es considerada una forma robusta de detectar fallas puesto que el contador de actualización deberá configurarse con un valor muy pequeño para que sea medianamente eficaz. Para aliviar las desventajas que presenta esto y mantener una detección de fallas robusta, se utiliza el mensaje HELLO. Este mecanismo permite detectar fallas nodo-a-nodo. Otra forma de detectar fallas de forma rápida es mediante los objetos NOTIFY y NOTIFYREQUEST [6].

ltdifusión IP sobre MPLS presentadas en los apartados 3 y 4.

### 5.1. Entorno de simulación

Para realizar el análisis de funcionamiento nos basamos en una topología real como es MBONE (Multicast Backbone). Con anchos de banda, tamaños de buffers, tamaños de paquetes, retardos en los enrutadores y otras variables utilizadas en la Internet Multicast. Para estas simulaciones se han considerado dos nodos origen diferentes teniendo en cuenta su ubicación en la red. Uno está en USA y el otro está en Japón. El criterio de selección de estos dos escenarios de pruebas fue conseguir que las distancias entre todos los nodos destino y cada uno de los nodos origen seleccionados representaran una muestra típica de la agrupación de nodos del sistema autónomo de USA y de los nodos de borde del resto de los países que conforman el MBONE (Multicast Backbone). Como en las simulaciones de los protocolos de enrutamiento multidifusión, también se han considerado como nodos destinos todos los nodos de frontera de los distintos países que conforman el MBONE. La simulación fue realizada con 85 nodos, 87 enlaces y 20 nodos destino. Como herramienta de simulación se utilizó Arena versión 5.0 [4].

Como parámetros de entrada se seleccionaron los siguientes valores topología MBONE:

- El tamaño de paquetes generados está entre **64 y 1500 bytes** con una moda **256 byte** y se ha caracterizado usando una distribución de probabilidad triangular. Para la moda se tomó el valor de 256 por ser el valor promedio de los paquetes de voz y vídeo que se ha comprobado de forma teórica y por medio de sniffers.
- Para el retardo en los enrutadores el valor utilizado fue **0.002 seg.**
- El tamaño del buffer en los enrutadores fue de **1MB**.
- Los valores seleccionados para la capacidad de los canales fueron **2 Mb, 34Mb y 100 Mb**. En cuanto al número de paquetes generados en la unidad de tiempo se realizaron diferentes simulaciones con valores de **50, 100, 200, 500, 700, 1000, 2000 y 5000 paquetes/seg.**
- Para las pruebas se ejecutó la simulación sin reserva de ancho de banda, es decir **0 Kbps** y con reservas de **250 Kbps, 500Kbps, 750Kbps, 1Mbps, 1.25Mbps, 1.5Mbps, 1.75Mbps y 2 Mbps**, el cual es el máximo ancho de banda presentado por la conexión entre los diferentes países (sistemas autónomos).
- Para representar el resto del tráfico fluyendo a través de los mismos nodos y enlaces que el tráfico analizado en esta simulación, se ha establecido una función uniforme que administra la cantidad de ancho de banda **valor reservado** y su límite superior es **la capacidad de cada uno de los canales**. Cuando no se realiza reserva de ancho de banda, el límite inferior considerado en las simulaciones es **0 Kbps**.

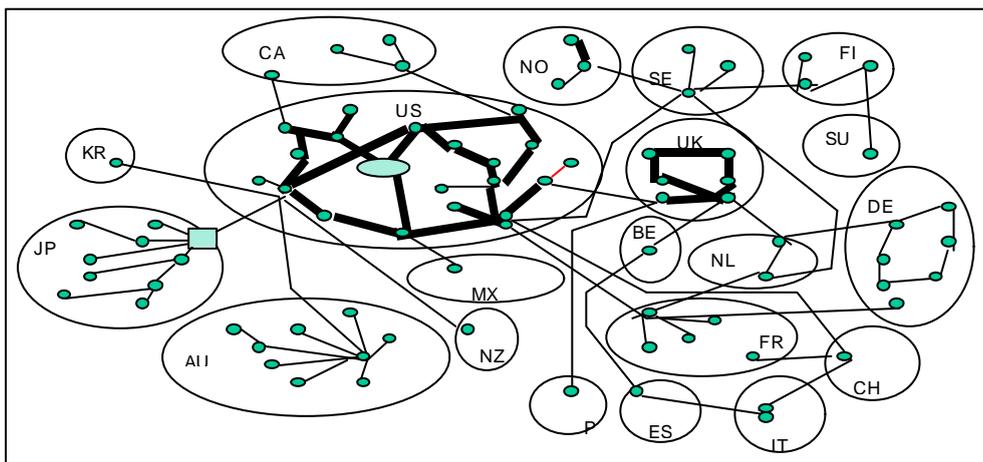


Figura 5. Topología MBONE (Multicast Backbone)

La simulación se llevó a cabo a través de envío de paquetes desde los nodos orígenes hasta los nodos destinos utilizando los parámetros presentados anteriormente. El valor que se analizó como resultado fue el retardo presentado por todos los paquetes transmitidos. Para cada uno de los escenarios dados por los parámetros de entrada se realizaron 30 simulaciones. Los resultados obtenidos en estas simulaciones se muestran en el siguiente subapartado.

## 5.2. Resultados

### Nodo origen en USA

La siguiente tabla y figuras muestran algunos de los valores obtenidos siendo USA el nodo origen de la transmisión

La variación en la reserva de ancho de banda tiene cierta repercusión en el **retardo medio** que experimentan los paquetes. Los diferentes anchos de bandas reservados se encuentran en las columnas (verticales) y las diferentes cantidades de paquetes generados se encuentran en las filas (horizontales).

RETARDO MEDIO		Reserva de Ancho de Banda (Mbps)								
		0	0.25	0.50	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
Paquetes generados por Segundo	50	12,14	11,91	11,54	11,32	11,18	11,07	10,83	10,78	10,58
	100	12,72	12,29	12,02	11,75	11,48	11,32	11,14	11,06	11,01
	200	12,51	12,13	11,85	11,58	11,38	11,22	11,01	10,93	10,86
	500	12,25	11,91	11,68	11,41	11,19	11,01	10,86	10,78	10,64
	700	11,95	11,66	11,40	11,18	11,01	10,94	10,79	10,61	10,51
	1000	11,91	11,59	11,29	11,07	10,86	10,71	10,60	10,50	10,39
	2000	11,86	11,57	11,36	11,15	10,96	10,79	10,66	10,52	10,49
	5000	11,81	11,41	11,16	11,02	10,78	10,66	10,56	10,43	10,34

Tabla 1. Retardos Medios nodo USA

En la siguiente gráfica se muestra en el eje horizontal los anchos de bandas reservados, en el eje vertical el retardo medio experimentado por los paquetes y cada línea representa a una cantidad de paquetes generados.

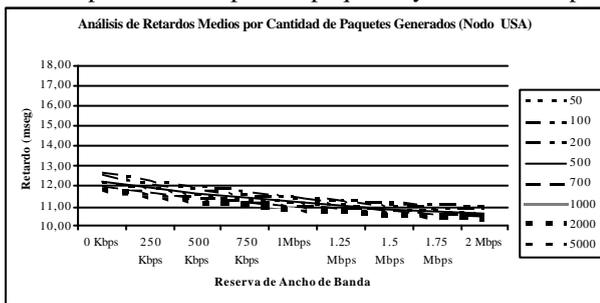


Figura 6. Retardos Medios Nodo USA (Analizando cantidad de paquetes generados)

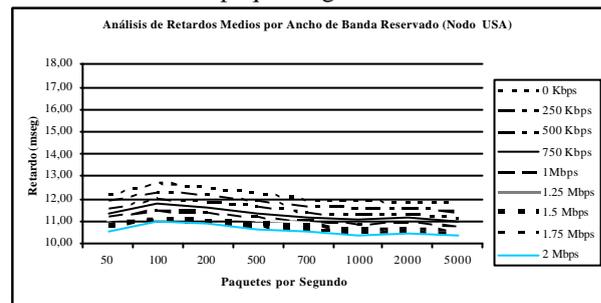


Figura 7. Retardos Medios Nodo USA (Analizando reserva de ancho de banda)

En la figura 6 podemos observar que a medida que se aumenta el valor de reserva de ancho de banda el retardo medio disminuye. Este es un comportamiento normal debido a que se está proporcionando mayor cantidad de recursos para el flujo de tráfico.

En la figura 7 se muestra en el eje horizontal las cantidades de paquetes generados, en el eje vertical el retardo medio experimentado por los paquetes y cada línea representa a una cantidad de reserva de ancho de banda.

En la figura 7 se puede observar que, a medida que aumenta la carga del sistema (aumenta el número de paquetes por segundo), el valor medio aumenta ligeramente hasta una cierta carga de la red (100 paquetes por segundo) y a partir de ese valor disminuye. Este comportamiento se justifica por el hecho de que para esta cantidad de paquetes generados no se descarta ningún paquete y por lo tanto los paquetes encuentran el buffer lleno debido a que la red empieza a estar saturada. También en la figura 7 podemos observar que a medida que se aumenta la cantidad de la reserva de ancho de banda el retardo medio es menor (cada línea representa una reserva de ancho de banda diferente).

### Nodo origen en JAPON

La siguiente tabla y figuras muestran algunos de los valores obtenidos siendo Japón el nodo origen de la transmisión de información multidifusión sobre MPLS.

En las figuras 8 y 9 podemos observar un comportamiento como el que se observó en el retardo medio para el nodo de USA. Si se aumenta el valor reservado de ancho de banda se mejora el retardo medio; pero la variación en la cantidad de paquetes generados entre 50 y 5000 paq/seg no afecta significativamente el retardo para cada reserva de ancho de banda, es decir que el valor del retardo medio se mantiene casi constante.

RETARDO MEDIO		Reserva de Ancho de Banda (Mbps)								
		0	0.25	0.50	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
Paquetes generados por segundo	50	17,62	17,09	16,65	16,14	16,11	15,88	15,66	15,43	15,41
	100	17,86	17,18	16,89	16,30	16,19	15,86	15,46	15,18	15,06
	200	17,62	17,29	16,79	16,10	16,05	15,81	15,84	15,37	15,15
	500	17,73	17,03	16,88	16,37	16,16	15,99	15,69	15,74	15,49
	700	17,60	17,31	16,89	16,58	16,48	15,65	15,62	15,84	15,40
	1000	17,82	17,19	16,89	16,49	16,32	16,03	15,85	15,83	15,72
	2000	17,55	17,17	16,77	16,65	16,41	16,06	15,88	15,86	15,46
5000	17,65	17,35	16,87	16,47	16,28	16,10	16,02	15,89	15,52	

Tabla 2. Retardos Medios nodo Japón

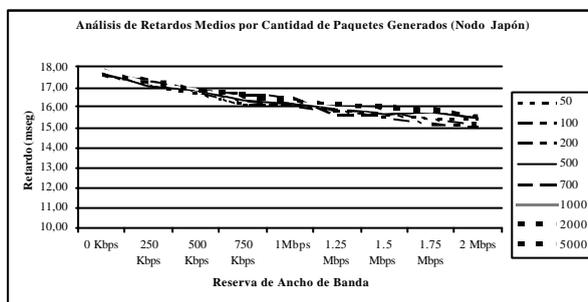


Figura 8. Retardos Medios Nodo Japón (Analizando cantidad de paquetes generados)

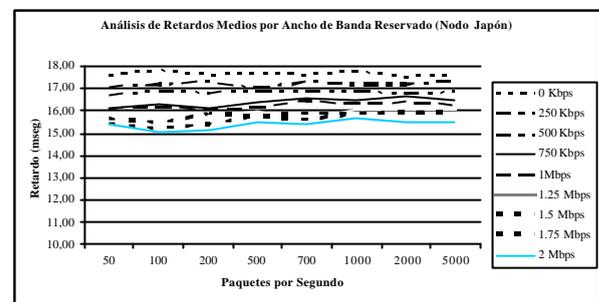


Figura 9. Retardos Medios Nodo Japón (Analizando reserva de ancho de banda)

Comparando los resultados obtenidos siendo origen el nodo de USA y el nodo de Japón podemos observar que la transmisión desde el nodo de USA siempre presentó menor retardo que el nodo de Japón. Esto se debe a que el nodo de USA se encuentra en el backbone de la topología MBONE en el cual el ancho de banda es de 34 Mbps. En cambio el nodo de Japón se encuentra en uno de los países de borde y en el cual la conexión hacia el backbone es de tan solo 2 Mbps.

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se ha explicado cómo MPLS permite hacer la multidifusión. Vista la importancia de la QoS en la multidifusión en MPLS con algoritmos de señalización (CR-LDP y RSVP-TE) que permitan hacer reserva de recursos.

Finalmente se han comparado mediante simulaciones el funcionamiento de la multidifusión IP sobre MPLS sin QoS y con QoS a través de la reserva de ancho de banda para el flujo de información, mostrando este último caso un mejor comportamiento en lo que respecta a retardo en la transmisión de paquetes.

También podemos mencionar más específicamente:

- La importancia de la especificación de MPLS para la transmisión de paquetes IP multidifusión, sobre todo cuando son aplicaciones sensibles al retardo.
- La importancia de realizar reservas de recursos en los múltiples destinos, lo cual trae como consecuencia directa un mejor tiempo de transmisión como se pudo apreciar en el punto de resultados de simulación.
- Mejora en el retardo a medida que se realiza una mayor reserva de recursos tanto en el nodo de USA y Japón; además es necesario mencionar que cuando se aplica reserva de recursos en la práctica real de las redes de computadores, se lleva a cabo analizando el valor máximo del retardo que podría experimentar una transmisión de un flujo de información sin afectar su calidad.

Automática de la Universidad de Girona.

- [13] B. Jamoussi. "Constraint-Based LSP Setup using LDP". RFC3212. 2002.
- [14] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon. "Multiprotocol Label Switching Architecture". RFC 3031. January 2001.
- [15] D. Ooms, W. Livens. "IP Multicast in MPLS Networks". High performance switching and routing, 2000. ATM 2000. Paper of the IEEE conference.
- [16] D. Ooms. "Framework for IP Multicast in MPLS". Draft-ietf-mpls-multicast-07.txt. Enero 2002.
- [17] Z. Wang, "Internet QoS. Architecture and Mechanism for Quality of Service". Morgan Kaufmann Publishers. 2001.