

# Multidifusión IP sobre MPLS sin y con QoS: propuesta y análisis de rendimiento<sup>1</sup>

Yezid Donoso Meisel<sup>1</sup>, Ramon Fabregat<sup>2</sup>, Jose Luis Marzo<sup>2</sup>, Eusebi Calle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

ydonoso@uninorte.edu.co

<sup>2</sup> 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 }

**Resumen.** En este artículo se presentan las extensiones de diversos algoritmos de unidifusión IP sobre MPLS para su funcionamiento en multidifusión. Para tráficos sin requerimientos de calidad de servicio se han considerado diversos métodos de señalización para distribución de etiquetas. Para tráfico con requerimientos de calidad de servicio (QoS), utilizando reserva de recursos, se han considerado los protocolos de señalización CR-LDP y RSVP-TE. Finalmente, mediante simulación se muestra el comportamiento en multidifusión para diversos tipos de tráfico analizando el delay y la pérdida de paquetes como parámetros de QoS.

## 1. Introducción

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) y que esta transmisión se haga garantizando ciertos parámetros de Calidad de Servicio como pueden ser el delay máximo y el número de paquetes que pueden ser descartados sin afectar a la calidad de la transmisión de la información. Esta Calidad de Servicio no puede ser asegurada por los protocolos TCP/IP por lo que se han desarrollado diferentes tecnologías para superar este inconveniente.

RSVP 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 Calidad de Servicio. La tecnología MPLS (Multiprotocol Label Switching) permite superar ciertas deficiencias de los niveles superiores, como por ejemplo TCP/IP, y a la vez mejora el factor de transmisión debido a que en vez de realizar el envío de paquetes a través de enrutamientos basados en direcciones IP este se realiza mediante conmutación a través de etiquetas. Además a MPLS se le ha especificado el funcionamiento de los protocolos de señalización RSVP-TE y el CR-

---

<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).

LDP para asegurar parámetros de Calidad de Servicio como por ejemplo la reserva de recursos y el retardo máximo para un flujo de información.

Este artículo se centra en el problema de la multidifusión para aplicaciones en las que es necesario asegurar un delay 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). En [13] se están trabajando diferentes tópicos acerca de multicast sobre MPLS. En concreto se presenta una taxonomía del funcionamiento de los protocolos de multidifusión IP en el contexto de MPLS y la aplicación de DiffServ, IntServ y RSVP en MPLS.

En [17] se presenta un análisis del control del ancho de banda y de los requerimientos de almacenamiento de los protocolos funcionando en Dense-Mode y funcionando en Sparse-Mode. También se analiza el comportamiento de PIM cuando un nodo destino realiza la transición desde el árbol compartido a través del RP al árbol mediante el Spanning Tree.

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 este artículo se propone el envío de información multidifusión IP sobre MPLS. Esto se logra extendiendo los protocolos de señalización comentados anteriormente para la transmisión de paquetes IP sobre MPLS. En el caso de la transmisión sin Calidad de Servicio se utiliza alguno de los protocolos de enrutamiento Multidifusión IP para establecer los LSPs (Label Switch Path). Para la transmisión con Calidad de Servicio, CR-LDP y RSVP-TE son usados

ización.

En el apartado 2 se explican brevemente diferentes protocolos de enrutamiento multicast (DVMRP, MOSPF, PIM-SM, PIM-DM, BGMP, CBT) y se analiza su rendimiento. En el apartado 3 se presenta una propuesta de funcionamiento de multicast IP sobre MPLS sin Calidad de Servicio mediante el uso del método Hop-by-Hop. En el apartado 4 se presenta una propuesta de funcionamiento de multicast IP sobre MPLS con Calidad de Servicio empleando el método de reserva de ancho de banda. En el apartado 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.

Los protocolos de enrutamiento Multidifusión IP los podemos clasificar en dos grupos según el modo de operación: protocolos *dense-mode* y protocolos *sparse-mode*. Los protocolos *dense-mode* están diseñados para trabajar sobre redes que tengan preferiblemente un ancho de banda amplio y en las que los miembros del grupo estén densamente distribuidos a través de la red. En los protocolos *sparse-mode* los miembros del grupo están ampliamente dispersos a través de la red. Como protocolos *dense-mode* podemos mencionar: DVMRP ([16] y [14]), MOSPF [12] y PIM-DM [9]. Y de protocolos *sparse-mode*: PIM-SM [10] y CBT ([5] [6]). Por otra parte, BGMP [15] es un protocolo diseñado para el enrutamiento multicast Inter-dominio o

entre sistemas autónomos, que construye árboles de dominio similares a los construidos por CBT.

Los protocolos *dense-mode* se caracterizan por utilizar para la construcción de los árboles de distribución multicast inundaciones periódicas y podas. A estos árboles se les conocen con el nombre de árboles basados en el origen. Para cada origen se crea un árbol mediante el algoritmo de Mínimo Árbol de Expansión (Spanning Tree). Estos protocolos muestran un mejor delay debido a la existencia de un árbol por cada origen, pero tienen el inconveniente de consumir mayor memoria en los routers pues para cada origen registran en sus tablas todas las rutas existentes a los destinos.

Los protocolos *sparse-mode* se caracterizan por usar árboles compartidos a través de un nodo llamado RP (Rendezvous point) que tiene la función de recibir toda la información de los nodos orígenes y retransmitirla a través del árbol compartido de este grupo multicast a los nodos destinos de ese grupo. Cada nodo origen está conectado al RP mediante una conexión unicast. Estos protocolos muestran un peor delay porque la existencia de un árbol compartido no garantiza la mejor ruta a todos los destinos. Presentan la ventaja de usar menos memoria en los routers pues solo tienen que registrar el RP para cada árbol compartido y a través del nodo RP deben enviar la información con destino al grupo multicast.

## 2.1. Entorno de simulación

Para analizar el rendimiento de estos seis protocolos de enrutamiento multicast aplicados en la topología real MBONE (Multicast Backbone) se realizaron simulaciones con Arena 5.0 [2]. Como nodo origen se consideró un nodo que esta en USA y como nodos destino todos los nodos de frontera de los distintos países que conforman el MBONE. Las variables analizadas en la simulación fueron los paquetes descartados y el retardo. La simulación fue realizada con 85 nodos, 87 enlaces y 20 destinos.

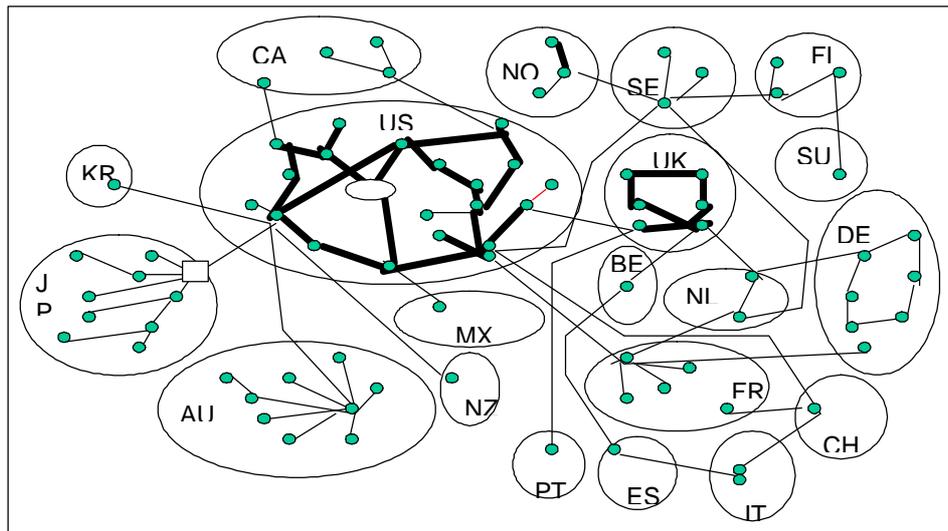


Figura 1. Topología MBONE

Los anchos de banda, tamaños de buffers, tamaños de paquetes, retardos en los enrutadores y otras variables fueron seleccionados teniendo en cuenta las características de la topología MBONE:

- El tamaño de los paquetes generados está comprendido entre 64 y 1500 bytes con una moda de 256 bytes y se ha caracterizado usando una distribución de probabilidad triangular. Para la moda se tomó el valor de 256 pues se ha comprobado de forma teórica y por medio de sniffers que este es el valor promedio de los paquetes de voz y vídeo.
- Para el delay en los enrutadores el valor utilizado fue 0.002 seg.
- El tamaño del buffer en los enrutadores fue de 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5 y 2 Mb.
- La capacidad seleccionada para los canales fueron 2, 34 y 100 Mb.
- Se realizaron diferentes simulaciones generando 50, 100, 200, 500, 700, 1000, 2000 y 5000 paquetes/segundo.

## 2.2. Resultados

Las primeras columnas de la tabla 1 muestran el número de paquetes descartados para distintos tamaños del buffer de los enrutadores. tamaño del buffer no afecta considerablemente al delay obtenido en las últimas columnas se ha mostrado el delay mínimo y máximo obtenido independiente del tamaño del buffer para el que se ha alcanzado cada uno de esos valores:

	Paquetes Descartados						Retardo	
	250Kb	500Kb	750Kb	1Mb	1,5Mb	2Mb	Mín	Máx
<b>BGMP</b>	0	1	0	0	480	0	16.59	16.78
<b>CBT</b>	1819	810	487	136	0	560	11.20	11.53
<b>PIM-DM</b>	1831	833	500	140	0	0	11.49	11.62
<b>DVMRP</b>	1511	833	500	140	0	0	12.06	12.16
<b>MOSPF</b>	1819	810	167	136	0	136	11.75	12.39
<b>PIM-SM</b>	2663	2229	1845	1440	672	0	48.31	48.43

**Tabla 1. Paquetes Descartados y Retardos**

El protocolo que presenta un mejor rendimiento en cuanto al retardo fue el CBT. Analizando la cantidad de paquetes descartados el mejor protocolo fue el BGMP, pero este protocolo solo se aplica a la transmisión multidifusión entre sistemas autónomos. Analizando los protocolos que funcionan dentro de un sistema autónomo (CBT, MOSPF y PIM-DM) todos mostraron un buen comportamiento y valores muy cercanos. Aunque CBT presenta el delay mas pequeño, como el protocolo CBT no es de uso comercial y actualmente solo se encuentra especificado de forma teórica, el protocolo PIM-DM es el protocolo de uso comercial que presentó mejor rendimiento.

Los protocolos DVMRP y PIM-DM presentan un comportamiento muy similar. Esto se debe a que usan los mismos mecanismos para obtener el árbol: una inundación inicial y la poda posterior del árbol obtenido.

PIM-SM presenta un mal rendimiento frente a los demás protocolos. Consideramos que esto se debe a que utilizar un árbol compartido no nos garantiza la mejor ruta para llegar a los destinos.

En esta simulación se presentaron unos valores atípicos: el valor de 560 paquetes descartados en el protocolo CBT con un tamaño de buffer de 2Mb y el valor de 136 paquetes descartados en el protocolo MOSPF con tamaño de buffer de 2Mb. Como la topología del MBONE presenta unas conexiones principales de 34Mbps y unas de 2Mbps en los bordes de los sistemas autónomos, cuando un equipo con un tamaño de buffer alto (2Mb) que está conectado mediante las conexiones de alta velocidad envía una ráfaga de información alta, los enrutadores que se encuentran en las conexiones de baja velocidad no son capaces de poder transmitir todo el flujo recibido y por lo tanto descartan una mayor cantidad de paquetes.

Cabe reafirmar que en los protocolos que trabajan en modo denso los enrutadores consumen mucha mas memoria que los que trabajan en modo esparcido debido a que los esparcidos solo registran el RP del grupo multicast.

### **3. Multidifusión IP sobre MPLS sin calidad de servicio**

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 trabajos previos realizados (y presentados brevemente en el apartado anterior) se ha visto que el protocolo de multidifusión PIM-DM tiene un buen comportamiento en cuanto al delay 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) desde el origen hasta los múltiples destinos. En este caso es necesario:

- Aplicar el protocolo de enrutamiento multidifusión PIM-DM para obtener una tabla de enrutamiento.
- Señalización del LSP: Aplicando el protocolo de señalización LDP (Label Distribution Protocol) [1], el LSR (Label Switch Router) origen enviará un mensaje de petición de etiqueta (LABEL\_REQUEST) y utilizando la tabla de enrutamiento lo enviará a los múltiples destinos. Cuando el LSR de destino recibe este mensaje, elige una etiqueta y pasando por diferentes LSRs (LABEL\_MAPPING) la regresa al origen utilizando los caminos seleccionados por el mínimo árbol de expansión obtenido por el protocolo de enrutamiento multidifusión. Cada LSR registra el valor de la etiqueta recibida por el puerto de salida y a su vez selecciona una nueva. Posteriormente reenvía este mensaje hacia el nodo origen con un nuevo valor de etiqueta.
- Como se está realizando multidifusión, un LSR puede recibir diferentes mensajes y por lo tanto para una misma etiqueta de entrada puede haber múltiples salidas en el LIB (Label Information Base). Cuando el mensaje (LABEL\_MAPPING) ha llegado al LSR origen el camino LSP ha quedado definido desde el origen hasta los múltiples destinos. Una vez que se han establecido los LSPs a los múltiples destinos, utilizando las etiquetas registradas en el LIB, se procede a enviar el tráfico de paquetes desde el origen hasta los múltiples destinos de un grupo multidifusión en particular.

## **4. Multidifusión IP sobre MPLS con calidad de servicio**

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 delay máximo para la voz. Para hacer multidifusión con Calidad de Servicio a través de MPLS, necesitamos desarrollar dos componentes: un encaminamiento con Calidad de Servicio 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 [3] o RSVP-TE [4]. En este apartado se consideran como estos algoritmos se podrían utilizar para la transmisión multidifusión con Calidad de Servicio.

En el encaminamiento explícito (como también ocurre en el encaminamiento en el origen) el LSR origen dispone de la lista de nodos por los que se construirá el ER-LSP. A través de los mensajes de establecimiento 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. Algoritmos de encaminamiento basados en origen como IP, en casos concretos pueden proporcionar rutas congestionadas cuando pueden haber otras que estén 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 Calidad de Servicio (QoS).

En las simulaciones que se presentan en el apartado siguiente la QoS se obtiene reservando un ancho de banda en cada uno de los canales que conforman los distintos LSPs que conducen la información.

## **5. Rendimiento de la multidifusión IP sobre MPLS**

Para estas simulaciones se han considerado dos nodos origen diferentes teniendo en cuenta su ubicación en la red. Uno está en USA (es el mismo de las simulaciones anteriores) 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. Como en las simulaciones anteriores también se han considerado como nodos destinos todos los nodos de frontera de los distintos países que conforman el MBONE.

### **5.1. Entorno de simulación**

En cada escenario se simularon utilizando Arena 5.0 [2] los dos métodos presentados en los apartados anteriores. Como se desean comparar exactamente los resultados

para las mismas trayectorias se han utilizando en ambos casos el árbol establecido por el protocolo multidifusión PIM-DM. Las variables analizadas han sido: los paquetes descartados y el tiempo de retardo mínimo, medio y máximo. En este caso los valores utilizados son los mismos que en la simulación anterior excepto que:

- El tamaño del buffer en los enrutadores es solamente de 1MB. Se realizan diferentes simulaciones variando el número de paquetes generados (50, 100, 200, 500, 700, 1000, 2000 y 5000 paquetes/segundo).
- Para la propuesta sin QoS (apartado 2) no se realiza ninguna reserva de banda (0 Kbps) y para la que considera QoS (apartado 3) las reservas están comprendidas entre los 250 Kbps y los 2 Mbps.
- 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 disponible, su límite inferior es el valor reservado y su límite superior es la capacidad de cada uno de los canales. Para sin reserva de ancho de banda el límite inferior que se ha considerado realice las simulaciones es 0 Kbps.

## 5.2. Resultados

Para cada uno de los escenarios considerados (nodo origen en USA y en JAPÓN respectivamente) se presenta, para diferentes reservas de ancho de banda y cargas del sistema, el comportamiento del retardo (mínimo, medio o máximo) y el número de paquetes descartados.

### 5.2.1. Nodo origen en USA

Las siguientes tablas y figuras muestran algunos de los valores obtenidos siendo USA el nodo origen.

La variación en la reserva de ancho de banda tiene poca repercusión en el **retardo mínimo** que experimentan los paquetes (tabla. 2).

RETARDO MINIMO		Reserva de Ancho de Banda (Mbps)								
		0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
Paquetes generados por segundo	50	4,28	4,29	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28
	100	4,29	4,28	4,29	4,29	4,28	4,28	4,27	4,28	4,28
	200	4,29	4,29	4,29	4,28	4,28	4,29	4,28	4,28	4,28
	500	6,23	5,55	5,86	5,85	6,21	6,05	5,62	5,50	5,92
	700	6,21	5,92	5,56	5,48	5,68	5,82	5,91	5,52	6,27
	1000	5,83	6,19	5,62	5,47	5,88	5,56	5,72	5,52	5,49
	2000	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03
	5000	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03

Tabla 2. Retardos Mínimos (nodo origen en USA)

En la figura 1 cada serie representa los valores de la tabla 2 para una reserva de

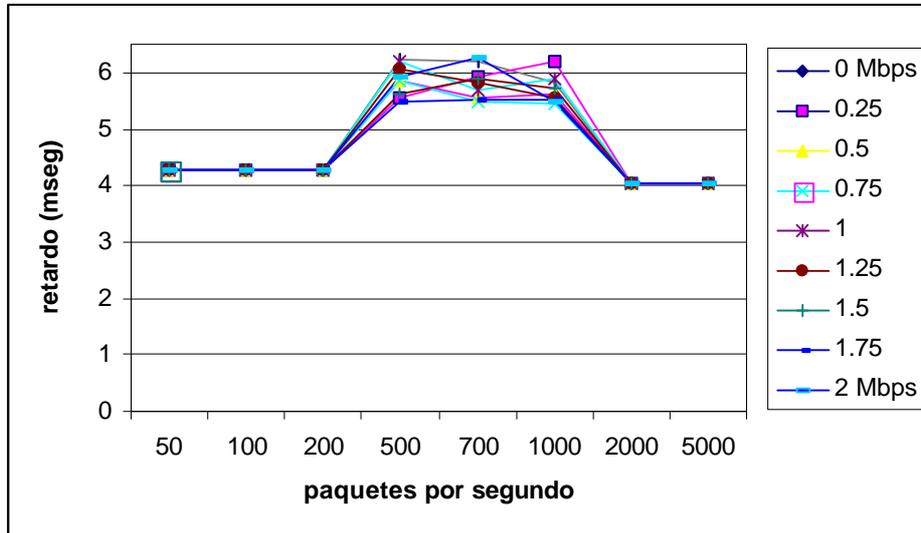


Figura 2. Retardos Mínimos Nodo USA (Analizando Reservas de ancho de banda)

ancho de banda determinada. En todos los casos, los paquetes generados para valores de 50, 100, 200, 2000 y 5000 paquetes/segundo tienen el mejor comportamiento respecto al retardo mínimo. En cambio para los valores de 500, 700 y 1000 paquetes/segundo tiene el peor comportamiento. Esto significa que la red se ajusta bastante bien a cargas bajas y cargas altas de paquetes transmitidos cuando el nodo de USA es el nodo transmisor (origen).

A medida que se aumenta el valor de la reserva de ancho de banda el **retardo máximo** disminuye (tabla 3). Este comportamiento se puede considerar totalmente lógico.

RETARDO MAXIMO		Reserva de Ancho de Banda (Mbps)								
		0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
Paquetes generados por segundo	50	31,15	30,71	29,10	28,37	27,90	27,51	26,78	26,72	25,88
	100	31,41	30,41	29,71	28,58	27,86	27,26	26,62	26,56	26,29
	200	29,78	28,63	28,00	27,00	26,30	25,96	25,32	25,09	24,83
	500	20,83	20,19	19,15	18,45	17,93	17,34	16,99	16,65	16,48
	700	21,41	19,83	19,07	18,20	17,99	17,34	17,37	16,63	16,46
	1000	21,36	20,25	19,09	18,74	18,16	17,27	17,32	16,85	16,48
	2000	58,43	52,05	47,53	44,15	42,55	41,85	41,03	41,30	39,60
	5000	56,79	50,66	46,33	43,82	42,79	41,48	41,22	39,98	37,76

Tabla 3. Retardos Máximos nodo USA

El comportamiento del retardo máximo (figura 2) es contrario al observado para el retardo mínimo (figura 1) cuando variamos la cantidad de paquetes generados. En este caso los valores de paquetes generados de 500, 700 y 1000 paquetes/segundo son los que presentan un mejor comportamiento. Hay que tener en cuenta que cuando se realiza el análisis de redes lo más importante es que el retardo máximo sea inferior a una cota fijada.

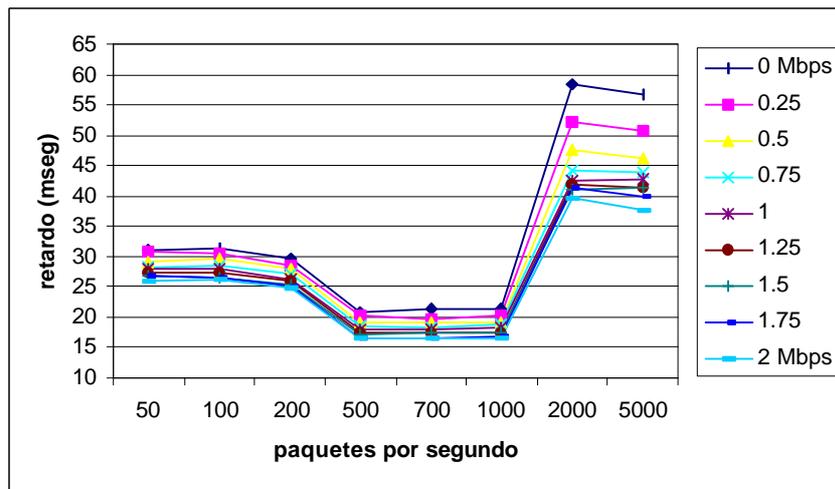


Figura 3. Retardos Máximos Nodo USA (Analizando reservas de ancho de banda)

En las diferentes simulaciones realizadas se ha obtenido que el **retardo medio** disminuye a medida que se aumenta el valor de reserva de ancho de banda, lo que también se puede considerar como un comportamiento normal.

Analizando los **paquetes descartados** (figura 3) nos damos cuenta de que cuando la red está poco cargada (50, 100 y 200 paquetes/segundo) no se descartan paquetes o se descartan muy pocos y por lo tanto el retardo es bueno. Cuando la carga en la red es alta (2000 y 5000 paquetes/segundo) se descartan muchos paquetes debido a congestión que hay en la red. En este caso los paquetes que llegan a ser enviados, son enviados muy rápidamente. Cuando la carga es media (500, 700 y 1000 paquetes/segundo) se da un comportamiento intermedio (aumento del delay) pues la red entra en niveles de congestión considerables pero sin llegar a descartar una gran cantidad de paquetes como sucede cuando está muy cargada.

Respecto a los paquetes descartados se observa que la variación en la reserva de ancho de banda tiene poca repercusión. En la figura 3 a medida que se aumenta de forma lineal la cantidad de paquetes generados el número de paquetes descartados se incrementa de forma exponencial. Por lo tanto es necesario aplicar una apropiada administración de la carga del sistema para que este no llegue a la congestión. Esto será mucho más importante para aquellas aplicaciones con Calidad de Servicio en las cuales la cantidad de paquetes descartados es una variable importante tanto como el retardo en la transmisión de los paquetes.



Figura 4. Paquetes descartados Nodo USA (Analizando reserva de ancho de banda)

### 5.2.2. Nodo origen en JAPON

En general el retardo tiene un comportamiento mucho más estable o constante cuando Japón es el nodo origen. A pesar de aumentar el ancho de banda reservado y de aumentar la cantidad de paquetes generados, el retardo no sufre una alteración significativa. Para las simulaciones presentadas siendo el nodo de USA el origen, los valores obtenidos son bastante diferentes al variar el ancho de banda reservado y la cantidad de paquetes generados.

El **retardo mínimo** de los paquetes enviados desde Japón es casi constante (entre 4,16 y 4,38 mseg.). Estos valores son menores en general que los obtenidos cuando el nodo origen era el de USA (tabla 2). Dentro de estas mínimas variaciones hay un ligero aumento cuando se incrementa la cantidad de paquetes generados y una ligera disminución cuando se incrementa el ancho de banda reservado.

El **retardo máximo** disminuye al aumentar el ancho de banda reservado. En este caso los valores están comprendidos entre los 40,09 y los 57,65 mseg. En general son mayores que los obtenidos cuando el nodo origen era el de USA (tabla 3) y principalmente cuando se generan 50, 100, 200, 500, 700 y 1000 paquetes/segundo. Este comportamiento se debe a que el nodo de USA presenta un mayor ancho de banda (34Mbps) en sus conexiones dentro de su sistema autónomo, mientras que el nodo de Japón presenta un ancho de banda 2Mbps en la salida hacia los demás nodos. Por este motivo, el nodo de USA es capaz de transmitir con un menor retardo máximo cuando se están transmitiendo pocos paquetes por segundo.

El **retardo medio** tiene un comportamiento muy parecido al presentado por el retardo máximo y los valores están comprendidos entre los 15,06 y los 17,86 mseg. Este comportamiento se debe, como en el caso del retardo máximo, a los diferentes anchos de banda de salida de ambos nodos.

El número de **paquetes descartados** aumenta de forma exponencial a medida que se aumenta de forma lineal la cantidad de paquetes generados. Es comportamiento es el mismo que sucedía en el caso en el que el nodo de USA era el origen. Los valores sin embargo presentan algunas diferencias. Cuando se generan 50, 100, 200, 500, 700 y 1000 paquetes/segundo, el nodo de USA presenta una menor cantidad de paquetes descartados y para 2000 y 5000 paquetes/segundo el nodo de Japón es el que presenta una menor cantidad. El menor descarte de paquetes presentado por el nodo de USA entre los valores de 50 y de 1000 paquetes/segundo está asociado al mayor ancho de banda disponible en este nodo en la conexión de salida hacia los nodos destinos. Cuando se generan 2000 y 5000 paquetes/segundo se observa un mejor comportamiento en la cantidad de paquetes descartados para el nodo de Japón. Este comportamiento se debe a que en el nodo de USA presenta un cuello de botella considerable cuando se debe pasar de un enlace de 34 Mbps en el centro del MBONE a uno de los enlaces de borde de los sistemas autónomos cuyo ancho de banda es de tan solo 2 Mbps. Como la capacidad de transmisión disminuye a medida que se incrementa la cantidad de paquetes generados, el problema aumenta más y por lo tanto aumenta en mayor proporción la cantidad de paquetes descartados.

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

Se ha realizado una revisión de los algoritmos de multidifusión IP para determinar como es el comportamiento del retardo y el número de paquetes descartados. Posteriormente se ha explicado cómo MPLS permite hacer la multidifusión. Vista la importancia de la Calidad de Servicio en la multidifusión se propone extender la multidifusión en MPLS con algoritmos de señalización (CR-LDP y RSVP-TE) que permitan hacer reserva de recursos.

Finalmente se ha comparado mediante simulaciones el funcionamiento de la multidifusión IP sobre MPLS sin calidad de servicio y con calidad de servicio 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 y en la cantidad de paquetes descartados por la red debido a la congestión.

También podemos mencionar mas específicamente:

- La importancia de la especificación de MPLS para la transmisión de paquetes IP multidifusión, sobre todo cuando son aplicaciones sensibles al delay.
- 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 mínimo, medio y máximo 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 delay que podría experimentar una transmisión de un flujo de información sin afectar su calidad.

- En cuanto a los paquetes descartados se puede observar una pequeña mejora para ciertos valores de reserva de ancho de banda, pero según el comportamiento a medida que se aumenta la cantidad de paquetes generados por segundo también crece en forma no lineal la cantidad de paquetes descartados. Por este motivo es posible pensar en múltiples LSPs para llevar a cabo el balanceo de la carga.

Los resultados obtenidos en las simulaciones ponen de manifiesto las mejoras que se podrían obtener si un algoritmo de multidifusión MPLS con Calidad de Servicio fuera implementado. También se plantea como trabajo futuro la aplicación de otros algoritmos de ingeniería de tráfico para el desarrollo de LSPs con reserva dinámica de ancho de banda y múltiples LSPs a un destino para adecuar el balanceo de carga.

## Referencias

- [1] Andersson. LDP Specification. RFC 3036. January 2001.
- [2] Arena (simulador). <http://www.arenasimulation.com/>
- [3] Ash. LSP Modification Using CR-LDP. RFC 3214. January 2002
- [4] Awduche. RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels. RFC 3209. December 2001.
- [5] Ballardie, A. Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing. RFC2189. September 1997.
- [6] Ballardie, A. Core Based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture. RFC2201. September 1997.
- [7] C. Boscher, P. Cheval, L. Wu, E. Gray. LDP State Machine. RFC 3215. Informational. January 2002
- [8] Boudani, Ali. An Effective Solution for Multicast scalability: The MPLS Multicast Tree (MMT). draft-boudani-mpls-multicast-tree-00.txt. November 2001
- [9] Deering. Protocol Independent Multicast Version 2 Dense Mode. Specification. draft-ietf-pim-v2-dm-01.txt. Noviembre 1998
- [10] Estrin, D. Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification. RFC2362. Junio 1998.
- [11] Jamoussi, Bilel. Constraint-Based LSP Setup using LDP. RFC3212. 2002.
- [12] Moy, J. Multicast Extensions to OSPF. RFC1584. Marzo 1994.
- [13] Ooms, D. Framework for IP Multicast in MPLS. Draft-ietf-mpls-multicast-07.txt. Enero 2002.
- [14] Pusateri, T. Distance Vector Multicast Routing Protocol. draft-ietf-idmr-dvmp-rp-v3-10. Agosto 2000.
- [15] Thaler, D. Border Gateway Multicast Protocol (BGMP): Protocol Specification. draft-ietf-bgmp-spec-02.txt. Noviembre 2000.
- [16] Waitzman, D. Distance Vector Multicast Routing Protocol. RFC1075. 1988.
- [17] Wei, L.; Estrin, D., "Multicast routing in dense and sparse modes: simulation study of tradeoffs and dynamics", Proceedings Fourth International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN'95), Los Alamitos, CA, USA, p.150-7, 1995