

# Soporte de Calidad de Servicio en Internet sobre Redes ATM

Ana B. García<sup>1</sup>, David Larrabeiti<sup>2</sup>, Arturo Azcorra<sup>2</sup>,  
Luis Bellido<sup>1</sup>, David Fernández<sup>1</sup>, Julio Berrocal<sup>1</sup>

1: Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos  
Universidad Politécnica de Madrid  
(DIT-UPM)  
{abgarcia, lbt, david, berrocal}@dit.upm.es

2: Área de Ingeniería Telemática  
Universidad Carlos III de Madrid  
(IT-UC3M)  
{dlarra, azcorra}@it.uc3m.es

**Palabras Clave:** IPv6, ATM, Calidad de Servicio, QoS, Servicios Integrados, IntServ, RSVP, multicast.

## 1 Introducción

La provisión de calidad de servicio (QoS) garantizada por parte de las redes de comunicación en un ámbito global es actualmente uno de los campos de investigación en activo, principalmente debido a la creciente importancia que cobra un conjunto de aplicaciones telemáticas, destacando entre ellas las dedicadas a la *tele-educación*, que precisan de esa garantía para su correcto funcionamiento. Una de las principales propuestas que se contemplan a la hora de definir marcos integrados de provisión de QoS propone la utilización de IP sobre ATM, de manera que se aprovechen tanto el control sobre los parámetros de QoS que proporciona ATM, como la gran expansión y conectividad de que goza IP.

Dentro del proyecto europeo *Broadband Trial Integration (BTI)*<sup>1</sup> [1] se ha elegido como base tecnológica para la provisión de calidad de servicio la integración de IPv6 (la nueva versión del protocolo IP) y ATM, utilizando como marco de referencia el paradigma de Servicios Integrados (*IntServ*) del IETF (*Internet Engineering Task Force*). *IntServ* propone una extensión al modelo de servicio de Internet (que en la actualidad únicamente es capaz de proporcionar un servicio sin garantías de QoS, o *best-effort*) de manera que se incluyan servicios de tiempo real.

Concretando más específicamente la tecnología utilizada en el proyecto, la infraestructura de acceso combina una red óptica pasiva (*PON: Passive Optical Network*) con tecnología VDSL (*Very high-rate Digital Subscriber Line*) [2], de manera que al usuario se le ofrece una interfaz ATM a 25 Mbps. Sobre esta red de acceso ATM de banda ancha se proporciona QoS mediante una arquitectura de protocolos que incluye IPv6 sobre ATM e *IntServ* aplicado a subredes ATM, con soporte completo para multicast.

Para el estudio del impacto de la QoS sobre la percepción de los usuarios de servicios de nueva generación, se adaptaron dentro de BTI diversas aplicaciones educativas ya existentes [3], que fueron provistas de capacidad de comunicación sobre IPv6, multicast (cuando fue necesario), y control de calidad de servicio (visible al usuario). Estas aplicaciones son: un servidor de vídeo bajo demanda (basado en *ORACLE video server*), aplicaciones de videoconferencia (VIC y RAT) y aplicaciones de datos cooperativas (aplicaciones del proyecto LEVERAGE [4]). Se realizaron dentro del proyecto pruebas con estudiantes y profesores conectados a redes de acceso en Portugal, Dinamarca y Polonia utilizando las aplicaciones adaptadas, que permitieron

---

<sup>1</sup> BTI ha sido financiado parcialmente por la Comisión de la UE en el marco del proyecto ACTS 362.

la extracción de conclusiones acerca del entendimiento y percepción de los usuarios sobre las características que la red ofrece.

El resto del artículo expone las actividades y resultados que se desprenden del desarrollo de la torre de protocolos integrada que se utilizó en el proyecto BTI, capaz de garantizar calidad de servicio bajo el modelo *IntServ* en un entorno IPv6/ATM. Este desarrollo forma parte de la participación de DIT-UPM e IT-UC3M en el citado proyecto.

## **2 Tecnología: Servicios Integrados sobre Redes IPv6/ATM**

En general, la utilización del protocolo IP sobre redes ATM es ciertamente compleja, debido a las importantes diferencias de diseño que existen entre ambos. La naturaleza orientada a conexión de las redes ATM no constituye el entorno ideal para un protocolo no orientado a conexión como IP.

Habitualmente, la configuración de las redes ATM, tanto en entornos WAN como en redes de acceso basadas en tecnologías xDSL (sus dos ámbitos tradicionales), es estática, basada en el uso exclusivo de circuitos permanentes (PVC) preconfigurados. El uso de PVC simplifica significativamente la utilización conjunta de IP y ATM. Sin embargo, tiene importantes inconvenientes a la hora de aplicarse a un entorno como el planteado en BTI, ya que no permite la realización de reservas de QoS dinámicas –que deben traducirse en el establecimiento dinámico de circuitos ATM (SVC)–, ni el aprovechamiento del servicio multipunto ATM para soportar tráfico multicast IP, ambos requisitos fundamentales a la hora de soportar las aplicaciones multimedia seleccionadas en BTI.

Sin embargo, como se apreciará más adelante, las soluciones basadas en SVCs tienen como contrapartida una mayor complejidad, debido principalmente al importante número de circuitos ATM a gestionar, lo cual redundaría en una mayor dificultad de implementación y problemas de escalabilidad.

### **2.1 IPv6 sobre ATM**

La solución inicial planteada para llevar datagramas IP sobre SVC se especificó siguiendo el modelo clásico de IP, que se basa en definir cómo un datagrama IP viaja sobre una determinada subred. Dicha solución, denominada CLIP (*Classical IP over ATM*), engloba dos entidades: el servidor de ATMARP (especificado inicialmente en [5]) y el servidor MARS (*Multicast Address Resolution Server* [6]).

El primero se encarga de la resolución de direcciones IP a ATM. Esta función, que se resuelve de una forma sencilla en las redes locales utilizando sus mecanismos de difusión, ha de realizarse de forma centralizada en ATM. Todos los clientes mantienen una conexión con el servidor, y a él dirigen sus preguntas cuando necesitan obtener la dirección ATM que corresponde a una determinada dirección IP.

El segundo –servidor MARS– se encarga de la gestión de los grupos multicast. A diferencia de lo que sucede en las redes locales, la correspondencia directa entre direcciones IP multicast y direcciones ATM no es posible, puesto que en ATM no existen direcciones multicast asignables dinámicamente. La solución pasa por gestionar la correspondencia entre direcciones IP multicast y el conjunto de las direcciones ATM de los clientes que en cada momento desean recibir el tráfico dirigido a dicha dirección de grupo. Ésta es precisamente la función del servidor de MARS.

A la hora de enviar tráfico multicast, el estándar MARS define dos posibles escenarios. El centralizado está basado en la existencia de un servidor de multicast (*MultiCast Server*, MCS), y todos los emisores que envían tráfico a un grupo multicast establecen una conexión con una misma máquina, que es raíz de un único circuito multipunto compartido hacia los miembros del grupo. El segundo escenario es el distribuido (*VC mesh*), donde cada emisor realiza una consulta al servidor de MARS para obtener las direcciones ATM de los miembros del grupo,

abriendo posteriormente un circuito multipunto directamente con ellos. Esta última opción fue la escogida para el desarrollo realizado, ya que, a pesar de presentar más problemas de escalabilidad, es la única que soporta de una manera estandarizada la especificación del soporte de QoS tal y como era requerido en el proyecto.

En el caso de la nueva versión del protocolo IP -IPv6-, la solución planteada para su funcionamiento sobre ATM es similar. Sin embargo, existen algunos cambios de importancia. El modelo empleado para la resolución de direcciones en IPv6 –basado en el protocolo *Neighbour Discovery (ND)*– se ha definido de forma genérica, independiente de subred, y se ha obligado a que toda subred ofrezca servicio de multicast. La consecuencia es que en IPv6 no es necesaria la existencia del servidor de ATMARP, utilizando un solo protocolo, ND, para resolver direcciones de cualquier tipo de subred (a diferencia de lo que sucede en IPv4 con la utilización de dos protocolos: ARP para redes locales y ATMARP para ATM). Sin embargo, esta solución implica la obligatoriedad de soportar multicast, que se plantea como opcional en IPv4.

## **2.2 Servicios Integrados sobre ATM**

Dentro del modelo de Internet de Servicios Integrados (IntServ) propuesto para dotar a las redes IP de soporte de QoS, se propone la utilización del protocolo RSVP (*Resource ReSerVation Protocol* [7]) como protocolo de señalización que permita a los sistemas finales realizar peticiones de reserva de recursos para sus flujos de datos. RSVP se basa principalmente en dos tipos de mensajes denominados: PATH, cuyo objeto es informar acerca de las características de los flujos de datos enviados; y RESV, para realizar las reservas de recursos.

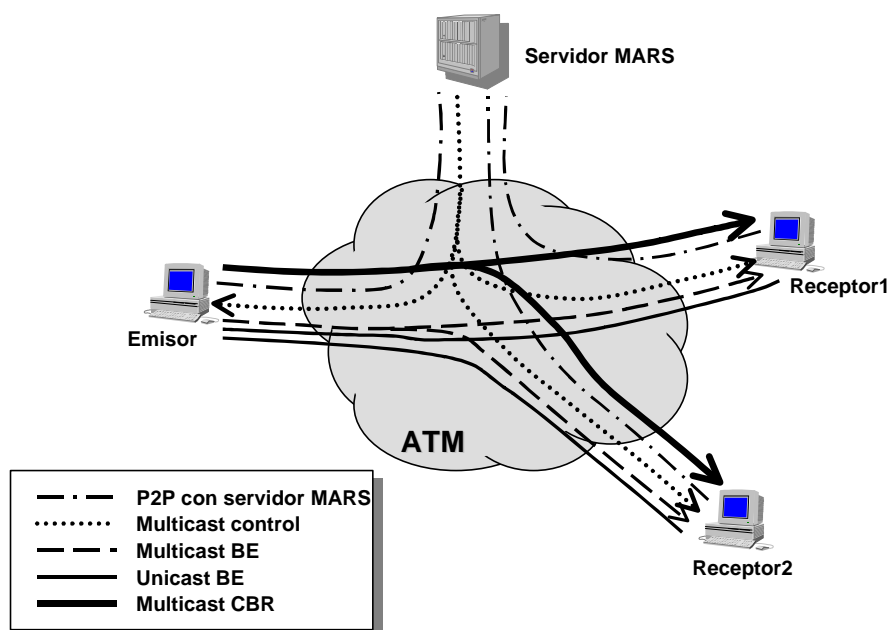
Sin embargo, la aplicación del modelo *IntServ* a escenarios ATM no es sencilla, debido a las sustanciales diferencias entre ambos modelos de soporte de QoS. Cabe mencionar, como aspectos más relevantes a este respecto, los siguientes [8]:

- RSVP establece peticiones de reserva iniciadas en el receptor, mientras que la señalización ATM relacionada con la apertura de circuitos es iniciada en el emisor. La solución requiere comunicar al emisor la necesidad de apertura de un circuito ATM, junto con la QoS requerida, para que sea él mismo el que realice la apertura. La propia señalización que RSVP transporta realiza de hecho esta función.
- RSVP permite cambios dinámicos en los parámetros de QoS en una sesión, sin embargo los parámetros en un circuito ATM son estáticos: para cambiarlos, es necesario cerrar el circuito y abrir otro.
- La reserva de recursos que se define en RSVP es unidireccional. En el caso de circuitos ATM, esta reserva es bidireccional si el circuito es unicast, y unidireccional si es multicast (aunque se permiten reservas asimétricas, e incluso una reserva nula en uno de los sentidos).
- RSVP permite heterogeneidad en las reservas hechas por los diferentes miembros de una sesión multicast. Pero un circuito ATM multicast proporciona la misma calidad de servicio a todos los receptores.

A pesar de la dificultad que entraña la implementación de *IntServ* sobre ATM, el esfuerzo invertido en los últimos años ha dado como resultado una serie de estándares que especifican de forma detallada cómo debe realizarse [9].

## **2.3 Complejidad de los Escenarios**

Tras el repaso a las distintas tecnologías que participan en el desarrollo realizado, y como ejemplo de la complejidad de los escenarios que las aplicaciones imponen, se puede mencionar el caso de una audioconferencia con garantías de calidad de servicio en la que se tienen un emisor y dos receptores que pertenecen a un grupo multicast. La Figura 1 muestra gráficamente los circuitos que es necesario mantener en el escenario descrito.



**Figura 1: Circuitos en Audioconferencia con Un Emisor y Dos Receptores**

Como se puede observar, en este caso cada cliente debe gestionar entre cinco y seis circuitos ATM (de entrada y/o salida) que transportan tráfico de distinta naturaleza:

- ◆ El servidor de MARS establece un circuito multipunto con todos los clientes, con el propósito de difundir información sobre las pertenencias a los grupos multicast IP.
- ◆ Cada uno de los clientes (emisor y receptores) establece un circuito punto a punto de control con el servidor de MARS para solicitar las direcciones de los miembros de un determinado grupo, o para unirse o salir del mismo.
- ◆ El emisor establece un circuito multicast BE con los dos receptores, por el que se envían los mensajes RSVP de PATH.
- ◆ Cada receptor establece un circuito unicast BE con el emisor por el que se envían los mensajes RSVP de RESV (de solicitud de reserva de recursos).
- ◆ El emisor establece un circuito multicast con QoS con los dos receptores, por el que se envían los datos de la aplicación.

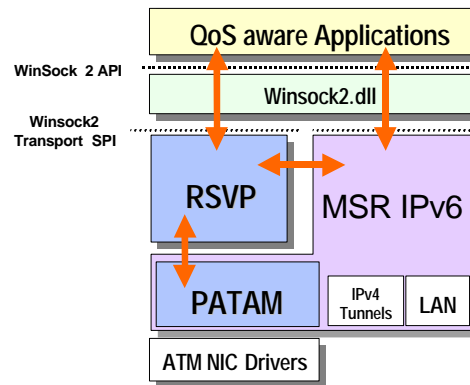
Este elevado número de circuitos da una idea de lo complejo de la implementación de la torre de protocolos integrada, así como de los problemas de escalabilidad que se vislumbran al aplicar esta solución a redes con un gran número de nodos.

### 3 Torre de Protocolos Integrada

Uno de los principales problemas a los que hubo que hacer frente durante el proyecto fue la inexistencia, en el momento en que fue necesaria, de una torre de protocolos capaz de proporcionar calidad de servicio según el modelo *IntServ* sobre redes IPv6/ATM, con soporte completo para multicast, y bajo el entorno elegido para las aplicaciones de usuario (Windows NT). Fue por tanto necesario realizar como parte del proyecto el desarrollo e integración de dicha torre de protocolos [10], partiendo de software cuyo código fuente estaba disponible (principalmente IPv6 y RSVP), al que hubo que añadir el soporte completo para ATM, entre otras características. A continuación se describen las principales características del trabajo realizado para la consecución de este objetivo.

En conjunto se ha desarrollado una torre de protocolos (Figura 2) para entornos NT compatible con el estándar Winsock2 que incluye:

- IPv6 sobre ATM, con soporte completo para multicast a través del protocolo MARS.
- RSVP sobre IPv6.
- Reserva de recursos (control de tráfico) sobre subredes ATM. Este control de tráfico está integrado con RSVP de manera que se soporta el servicio predictivo (*Controlled Load*) de *IntServ* sobre circuitos CBR y el servicio *best-effort* sobre circuitos UBR. Esta QoS se proporciona tanto para flujos unicast como multicast.



**Figura 2: Arquitectura de Protocolos**

La Figura 2 muestra de manera genérica la arquitectura de protocolos descrita. Como se aprecia en la figura, a las aplicaciones se ofrece el API estándar Winsock2 tanto para acceder a IPv6 como a RSVP. Los dos principales bloques que se han desarrollado como parte del proyecto son PATAM (el *driver* IPv6/ATM) y el módulo de RSVP. Ambos son descritos más adelante.

### 3.1 PATAM: Driver IPv6/ATM

PATAM (*IPv6 over ATm Adaptation Module with RSVP support*) es un *driver* de IPv6 sobre ATM desarrollado para el proyecto BTI a partir de una implementación de IPv6 para Windows NT de Microsoft Research (que sólo soportaba interfaces Ethernet). En concreto, se trata de un *driver* multi-hebra que se ejecuta en modo usuario, y que implementa IPv6/ATM [11] [12] utilizando circuitos virtuales conmutados (SVCs). Incluye soporte para multicast mediante un cliente de MARS.

Los principales módulos que componen PATAM son:

- Base de datos de flujos: En ella se almacena toda la información sobre los flujos IPv6 de tipos BE (*Best Effort*) y CL (*Controlled Load*), unicast o multicast, que están activos.
- Módulo de acceso a IPv6: Se encarga de la comunicación con IPv6, de manera que los paquetes destinados al interfaz ATM son dirigidos por este módulo hacia el de envío/recepción, y, análogamente, cada vez que se recibe un paquete IPv6 por un circuito ATM, es entregado a la torre IPv6 por este módulo.
- Módulo de envío/recepción de paquetes: Este módulo integra las funciones necesarias para el envío y recepción de paquetes IPv6 sobre ATM. Incluye el clasificador y el planificador, encargados en conjunto de, conforme a los flujos registrados en la base de datos de flujos, enviar cada paquete IPv6 por el circuito ATM que corresponda (en definitiva, asegurar que los paquetes de cada flujo recibirán la calidad de servicio adecuada).
- Módulo de acceso a ATM: Permite la apertura y cierre de SVCs y de hojas de los mismos (si son multipunto), así como la notificación de eventos relacionados con los circuitos ATM a otros módulos.
- Cliente de MARS: Se encarga de la comunicación con el servidor de MARS de la LIS para la gestión referente a los grupos multicast. Para su desarrollo se partió de una implementación de NIST para Linux.
- Módulo de control de tráfico: Realiza la comunicación con el demonio de RSVP para la creación y liberación de flujos CL y sus correspondientes circuitos ATM multipunto de tipo CBR. Se describe con más detalle en el siguiente apartado.

### 3.2 RSVP

El demonio RSVP desarrollado como parte del proyecto BTI es conforme a los estándares actuales [7] [13] e incluye la siguiente funcionalidad:

- API de acuerdo al estándar Winsock2.
- Funcionamiento sobre IPv6 nativo (sin encapsulación sobre UDP).
- Implementación de sistema final (*host*).
- Soporte para interfaces tanto Ethernet como ATM.
- Interacción con PATAM (*driver* IPv6/ATM) para proporcionar Control de Tráfico real sobre subredes ATM. Se soportan los estilos de reservas FF (*Fixed-Filter*) y SE (*Shared-Explicit*), y el servicio de Carga Controlada (*Controlled Load*) de *IntServ*.

Para el desarrollo del demonio de RSVP se decidió partir de una implementación de referencia, del Instituto de Ciencias de la Información (ISI, *Information Sciences Institute*), perteneciente a la universidad de California del Sur. Esta implementación, que funciona en diversas plataformas Unix, fue migrada para su utilización en entornos Windows NT y completada de manera que se dispusiese de control de tráfico sobre subredes ATM. La Figura 3 muestra la arquitectura modular relacionada con el soporte para RSVP que se implementó dentro del proyecto BTI.

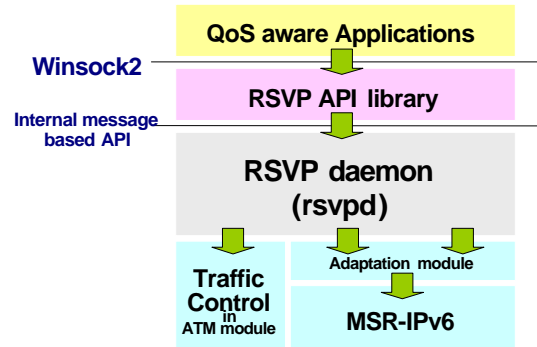


Figura 3: Arquitectura RSVP

Los principales cometidos que se llevaron a cabo a la hora de realizar la migración fueron:

- Desarrollo de una biblioteca de enlace dinámico que ofrece a las aplicaciones el API estándar de Winsock2 y se comunica con el procesamiento central de RSVP a través de una interfaz interna (que se ha conservado como en la implementación de ISI).
- Modificación de la torre IPv6 de MSR para soportar la funcionalidad avanzada que el demonio de RSVP necesita respecto a entrada/salida y encaminamiento. También se desarrolló una capa intermedia para encapsular las llamadas de bajo nivel que se solicitan al IPv6, ofreciendo al procesamiento central de RSVP interfaces genéricas de más alto nivel.
- Desarrollo, dentro del *driver* PATAM, de un módulo de Control de Tráfico sobre ATM. Este módulo ofrece una interfaz que permite la apertura (y cierre) de circuitos y hojas de circuitos ATM de tipo CBR, asociados a reservas de QoS realizadas (o terminadas). La implementación de RSVP de ISI proporcionaba un *Traffic Control* casi vacío, apropiado para interfaces de tipo Ethernet. La inclusión de *Traffic Control* sobre ATM se ha realizado aprovechando la posibilidad que la estructuración modular del código de ISI ofrecía para añadir, en lugar de sustituir, nuevos módulos de Control de Tráfico apropiados para distintos tipos de interfaces. Con esto, el módulo de RSVP obtenido en el proyecto BTI es capaz de operar sobre ambos tipos de interfaces (Ethernet y ATM), aplicando en cada caso el Control de Tráfico adecuado.

## 4 Conclusiones

Como primera y positiva conclusión, se debe destacar que como fruto del trabajo invertido se logró una solución que reunía los requisitos impuestos por las aplicaciones a evaluar en el proyecto, y cuyo funcionamiento y eficiencia fueron satisfactorios. Este trabajo supone una contribución en general al entendimiento de algunas alternativas para proporcionar QoS a servicios IP, aunque aún queda mucho camino hasta lograr una solución genérica.

En cuanto a la integración de tecnologías, se demostró la posibilidad de interoperación entre IPv6 y ATM, siendo posible proporcionar calidad de servicio extremo a extremo utilizando el modelo de Servicios Integrados, así como establecer una correspondencia entre el multicast IPv6 y el ATM. Por su parte, IPv6 se ha demostrado suficientemente maduro. Algunas de sus características, como la capacidad de autoconfiguración, se han probado de gran utilidad.

Un aspecto importante a destacar es la aparente falta de escalabilidad al utilizar *IntServ* junto con RSVP en redes ATM, que hace suponer que su uso no es indicado en redes grandes (ya se ha dado una indicación del alto número de circuitos necesarios en una sesión multicast con QoS). Se podría pensar en mejorar la escalabilidad de la solución, intentando disminuir el número de circuitos que es necesario mantener, por ejemplo realizando una compartición inteligente de varios flujos del mismo circuito ATM (para lo que actualmente no existe una solución estandarizada). En cualquier caso, en una red de acceso el número de sesiones a mantener es limitado, y el uso de Servicios Integrados proporciona ventajas en cuanto a flexibilidad a la hora de establecer políticas y estrategias de contabilidad. Además, *IntServ* es el único modelo con el que se puede tener un control total sobre la cantidad de recursos necesarios en cada momento para lograr la QoS requerida, permitiendo un óptimo aprovechamiento de los mismos. Una línea de continuación encaminada a mejorar aún más el aprovechamiento de los recursos es la implementación del servicio de Carga Controlada sobre circuitos ABR, algo que no se realizó en el proyecto por falta de soporte para este tipo de circuitos por parte del proveedor Winsock2 de ATM de que se disponía.

## 5 Bibliografía

- [1] N. Andersen, A. Azcorra, E. Bertelsen, J. Carapinha, L. Dittmann, D. Fernandez, J. Kjaergaard, I. McKay, J. Maliszewski, Z. Papir, "Applying QoS Control through Integration of IP and ATM", IEEE Communications Magazine, July 2000, ISSN 0163 6804.
- [2] A. Azcorra, E. J. Hernández-Valencia, J. Berrocal, D. Larrabeiti, "IP/ATM Integrated Services over Broadband Access Copper Technologies", IEEE Communications Magazine, vol. 37, May 1999, pp. 90-97.
- [3] D. Fernández, A. B. García, D. Larrabeiti, A. Azcorra, P. Pacyna, Z. Papir, "Bouquet of Multimedia Services for Distant Work & Education in IP/ATM Environment". Pendiente de publicación.
- [4] D. Fernández, L. Bellido, E. Pastor, "Session Management and Collaboration in LEVERAGE", First LEVERAGE Conference on Broadband Communications in Education and Training, Cambridge, 7-8 January 1998. Disponible en: <http://www.dit.upm.es/leverage>
- [5] M. Laubach, "Classical IP and ARP over ATM", RFC 1577, January 1994.
- [6] G. Armitage, "Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks.", RFC 2022, November 1996.
- [7] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -- Version 1 Functional Specification", RFC 2205, September 1997.
- [8] M. Borden, E. Crawley, B. Davie, S. Batsell, "Integration of Real-time Services in an IP-ATM Network Architecture", RFC 1821, August 1995.
- [9] M. Garrett, M. Borden, "Interoperation of Controlled-Load Service and Guaranteed Service with ATM", RFC 2381, August 1998.
- [10] Torre de protocolos PATAM, Marzo 2000, disponible en: <http://www.dit.upm.es/~bti/>
- [11] G. Armitage, P. Schulter, M. Jork, G. Harter, "IPv6 over Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) networks", RFC 2491, January 1999.
- [12] G. Armitage, P. Schulter, M. Jork, "IPv6 over ATM Networks", RFC 2492, January 1999.
- [13] J. Wroclawski, "The Use of RSVP with IETF Integrated Services", RFC 2210, September 1997.