# CAPÍTULO 2

# TAXONOMÍA DE ARQUITECTURAS Y PROTOCOLOS PARA REDES ATM

## 2.1. INTRODUCCIÓN

La tecnología ATM continua evolucionando y siendo fuente de interesantes y novedosas propuestas. El desarrollo de avanzados protocolos de comunicaciones es uno de los campos de investigación más activo, con la aspiración de ofrecer el adecuado soporte a las nuevas aplicaciones adaptadas a las clases de servicio nativas ATM. Los protocolos son los responsables, entre otras funciones, de garantizar la QoS demandada por los usuarios de avanzados servicios multimedia. En este contexto son aspectos clave los relativos a los protocolos nativos ATM, así como las características multicast, la escalabilidad y la fiabilidad.

La actual demanda de aplicaciones relacionadas con información multimedia, como son la video-conferencia, audio-conferencia, video bajo demanda (VoD) o sistemas colaborativos (pizarras compartidas, teletrabajo, telemedicina, etc.) y su coexistencia con aplicaciones más clásicas (bases de datos, transferencias de ficheros, WWW, etc.), requiere de tecnologías de comunicaciones capaces de ofrecer elevadas prestaciones. Estas prestaciones están directamente relacionadas con la QoS y, más concretamente, con conceptos parametrizables como el ancho de banda y la velocidad de transmisión (throughput), el retardo de las transferencias (delay); la variabilidad en los retardos (jitter); la fiabilidad (reliability) de las transmisiones; las características de multidifusión a grupos dispersos de usuarios (multicast) y la posibilidad de gestionar múltiples clases de servicio o flujos de información en redes multiclass.

Para que las nuevas tecnologías en comunicaciones puedan ofrecer estas características es necesario revisar, potenciar y ampliar las actuales arquitecturas, servicios y protocolos de comunicaciones. En los últimos cinco años, las investigaciones en el campo de ATM están dado lugar a importantes propuestas cuyo principal objetivo es ofrecer a las aplicaciones más demandadas algunas, todas o superiores características a las citadas anteriormente.

Con este objetivo, nuestra tesis propone una nueva arquitectura que soporta un protocolo que aporta transferencias garantizadas a una serie de conexiones privilegiadas. Consideramos oportuno, por tanto, presentar en este capítulo los conceptos y propuestas más novedosas en materia de ingeniería de protocolos en el contexto de ATM para centrar este dinámico, complejo y sofisticado campo en el que nos vamos a mover. De este modo, revisaremos algunos de los más importantes conceptos, técnicas, ideas y mecanismos en materia de protocolos de altas prestaciones para redes de tecnología ATM. El principal objetivo de este capítulo es ofrecer una visión general actualizada, no extensiva ni profunda, de los protocolos propuestos y en desarrollo para dotar a las diversas clases de servicio ATM de las citadas características de QoS que aporten las potenciales elevadas prestaciones que la tecnología ATM es capaz de ofrecer.

Este capítulo contiene muchas de las lecciones aprendidas en el proceso de documentación e investigación de esta tesis, y nos permitirá centrar aspectos importantes que han acabado dando lugar a la propuesta de la arquitectura TAP (Trusted and Active Protocol). Así, comenzamos con una revisión de los conceptos más importantes en el campo de los protocolos de comunicaciones para conocer los objetivos de las nuevas propuestas comparativamente con los protocolos estándares. A continuación analizamos el concepto de protocolo nativo centrado en el contexto de las redes ATM. En el apartado siguiente describimos

las propuestas más interesante en materia de protocolos de transporte y protocolos multicast. Se comentan después las transferencias multicast como un importante objetivo para una tecnología orientada a la conexión como es ATM. Las transferencias punto-multipunto y multipunto-multipunto están generando investigaciones que han dado lugar a algunos protocolos multicast situados en la capa de transporte de estas redes de alta velocidad. La sección siguiente resume las diferentes propuestas existentes para el soporte del tráfico IP sobre la tecnología ATM, en un intento por integrar los flujos de información más extendidos sobre la tecnología más avanzada. Concluiremos destacando los campos de investigación abiertos recientemente como son las redes activas y los agentes software que en capítulos siguientes serán comentados con mayor profundidad ya que son el fundamento de muchas de las aportaciones de esta tesis. El dinámico campo del desarrollo de los protocolos nos lleva a no ser exhaustivos en nuestro estudio, por lo que no citamos todos los protocolos, ni presentamos todos los conceptos ni analizamos todas las soluciones existentes en la literatura.

## 2.2. CONCEPTOS CLAVE

La tecnología ATM ofrece importantes características como la integración de servicios, el elevado rendimiento y la escalabilidad. Las aplicaciones multimedia son el objetivo de las redes ATM ya que éstas requieren de características como la garantía de QoS y el soporte multicast. Las redes ATM se caracterizan también por congestiones indeterministas en los conmutadores causadas por ráfagas esporádicas provenientes de varias fuentes, y por frecuentes, inesperados y repentinos cambios en el ancho de banda disponible debidos a llegadas y salidas de conexiones ABR, CBR, VBR o UBR. ATM es, por tanto, una tecnología de comunicaciones mucho más sofisticada y compleja que otras como X.25, IP, Frame Relay, etc. Las investigaciones constantes en este campo se encargan de ofrecer nuevas características y conceptos, algunos de los cuales van a ser revisados brevemente en este apartado ya que serán empleados en las siguientes secciones y capítulos.

### 2.2.1. MODO ATM NATIVO

Las aplicaciones nativas ATM están específicamente pensadas para usar la tecnología ATM y para explotar al máximo sus especiales características. Los protocolos nativos se encargan, por tanto, de ofrecer esas características intrínsecas de las redes de tecnología ATM (soporte de QoS, señalización, direccionamiento, etc.) a las aplicaciones nativas ATM (VoD, pizarras compartidas, video-conferencia...). No obstante, existen también activas investigaciones para conseguir soportar sobre redes ATM aplicaciones no nativas ATM desarrolladas para otras tecnologías (IP, Frame Relay, SMDS...).

En [1], el termino *native ATM services* define servicios ATM específicos disponibles para el software y hardware residentes en dispositivos de usuario UNI ATM. Por tanto, el programador de aplicaciones dispone de nuevos servicios entre los que se pueden destacar los siguientes:

- Transferencias de datos (fiables o no) usando la capa ATM y varias capas de adaptación (AAL).
- Disponibilidad para usar y ofrecer circuitos virtuales conmutados (SVC) y circuitos virtuales permanentes (PVC).
- Consideraciones relativas a la gestión de tráfico (clases de servicio, garantías de QoS, etc.).
- Posibilidad de distribución de conexiones.
- Posibilidad para participar localmente en la administración de la red (protocolos ILMI y OAM).

El propósito de los servicios nativos ATM es ofrecer el acceso a las CoS o a las características de QoS. Estos servicios nativos también ofrecen soporte a un amplio y heterogéneo rango de flujos con diversas propiedades y requerimientos recomendados en [1].

Los protocolos de transferencia nativos ATM gestionan la señalización UNI para establecer los SVC, configurar PVC y mapear los perfiles de QoS en la correspondiente CoS. Los protocolos nativos también realizan funciones clásicas como las de transporte, mecanismos de control de errores, transferencia de datos, y controles de flujo y de congestión.

En la referencia [1] se especifica la definición semántica de los servicios y consideramos que es útil contrastar esta semántica con las redes ATM actuales que usan TCP como capa de transporte, e IP-over-ATM como capa de red. Planteamiento éste que puede considerarse poco adecuado [2] por estas razones:

- Las redes IP no garantizan la QoS extremo-extremo ofrecida por las redes ATM a circuitos individuales. IP multiplexa múltiples conexiones de transporte con distintos requerimientos de QoS en VC simples.

- TCP no soporta células RM (Resource Management) ABR y, como consecuencia, no puede usar directamente las garantías de QoS ofrecidas por la red.
- ATM Adaptation Layer 5 (AAL-5) realiza labores de checksum para detectar corrupción de datos. TCP también realiza estas labores (redundantes con AAL-5) costosas en overhead (cada byte de un paquete debe ser chequeado).
- TCP e IP son la representación de un grupo de protocolos anteriores a ATM y que ya han experimentado determinados arreglos y evoluciones, lo mismo que las aplicaciones que los emplean, lo que acaba dando, en algunos casos, a inadecuados comportamientos por la evolución independiente de ambas tecnologías.

Estos y otros problemas son eliminados usando pilas de protocolos en modo nativo ATM que son revisados en el siguiente apartado. La *Figura 2.1* muestra el modelo de referencia para servicios nativos ATM [1].

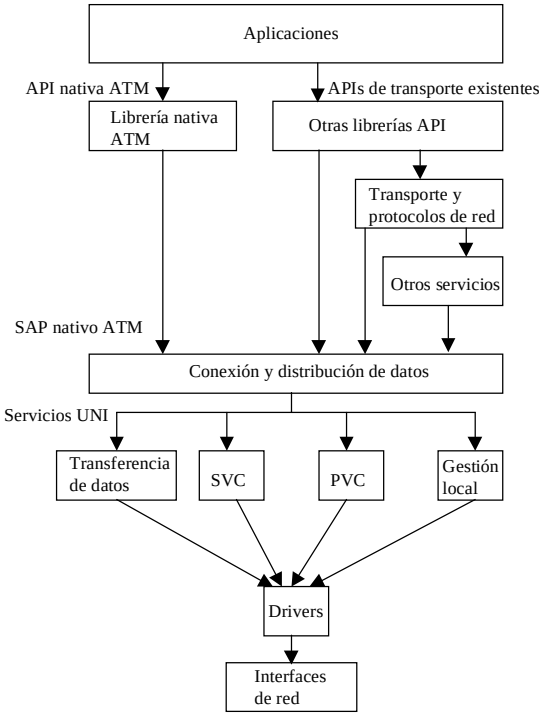


***Figura 2.1.*** *Modelo de referencia para servicios nativos ATM* [1]

Para concluir pueden argumentarse las siguientes razones [3] para justificar el desarrollo de pilas de protocolos nativos ATM en las que se basa también nuestra propuesta TAP:

- En la actualidad [3] existen aplicaciones pensadas para explotar avanzados servicios usando tecnología ATM y también existen otras aplicaciones más antiguas y no nativas. Este escenario implica cambiar las aplicaciones o proponer nuevas pilas de protocolos nativos ATM.
- La encapsulación consecutiva de paquetes genera problemas de overhead y funciones redundantes como se ha argumentado anteriormente.
- La limitación de recursos en los sistemas finales es otra importante motivación para usar pilas de protocolos nativos y ligeros.
- La QoS ofrecida por el modo nativo es aprovechada por los usuarios para demandar recursos a los proveedores de servicios en redes privadas. Los proveedores de servicios públicos disfrutan también de estas ventajas.
- ATM, RDSI y la telefonía ofrecen un esquema de direccionamiento universal basado en NSAP/E.164 el cual es capaz de enrutar tráfico de forma nativa. Por tanto, aunque ATM dispone de protocolos nativos con direccionamiento intrínseco, estructurado y jerárquico, éste no es aprovechado por las

aplicaciones que están basadas en IP. El esquema de direccionamiento ATM es una de las principales dificultades en los protocolos propuestos como nativos [2,3]

### 2.2.2. ESCALABILIDAD

ATM Forum ha normalizado protocolos de routing y señalización para PNNI (Private Network-Network Interface) para conseguir la escalabilidad de las redes ATM. Los actuales estándares proponen esquemas de señalización y routing *punto-a-punto*. La referencia [4] identifica el problema asociado con los protocolos multipunto-a-multipunto y propone soluciones a este problema.

Los componentes diseñados para ofrecer QoS deben ser escalables, es decir, deben poder ser usados aunque sean aplicados a muy larga escala. Con respecto a las aplicaciones multimedia, la escalabilidad tiene, como poco, dos aspectos clave [5]:

- Escalabilidad con respecto al número de participantes en una aplicación: debe ser posible transmitir un flujo multicast a un, potencialmente, muy largo número de participantes. Los protocolos Internet IP-multicat y ST-2+ [5] soportan este requerimiento. RSVP [6] también soporta un cierto nivel de escalabilidad, que puede verse comprometida o ser discutible y matizable en el caso de que existan varios miles de participantes.
- Escalabilidad con respecto al número de aplicaciones concurrentes: debería ser posible soportar muchas aplicaciones independientes y, por consiguiente, cientos de flujos simultáneos.

En la actualidad, parece que es más importante la escalabilidad referida a una sola aplicación, pero en el futuro todo dependerá de los requerimientos de cada situación particular.

### 2.2.3. TRANSFERENCIAS MULTICAST

Los dos modos clásicos de transferencia de paquetes entre nodos son los conocidos unicast y multicast [7,8]. En las transferencias unicast un nodo envía paquetes a un único nodo receptor. Las comunicaciones multicast las constituyen un nodo fuente que realiza una sola operación atómica (sólo se envía una copia de cada paquete sobre un enlace) a un grupo multicast de más de un participante (receptores) no necesariamente en la misma red. Una forma eficiente de hacer esto es construir un árbol de distribución multicast optimizado en coste. El multicasting se usa en aplicaciones multimedia para proveer de datos, audio y video a grupos dispersos de usuarios. El conjunto de participantes puede ser fijo o cambiar dinámicamente durante el curso de la sesión. El broadcast es un caso especial de multicast en el cual los paquetes son transferidos a todos los nodos conectados a una red.

ATM es considerada aún como una tecnología emergente diseñada para ser usada por aplicaciones de datos, audio y video, lo que requiere un buen comportamiento de las transferencias unicast y multicast. User Network Interface (UNI 3.0) para ATM define conexiones punto-a-multipunto, y las conexiones multipunto-a-multipunto sólo pueden ser obtenidas de las dos siguientes formas:

- El primer esquema consiste en configurar *N* conexiones punto-a-multipunto para conseguir conectar todos los nodos en una topología completamente mallada todos-con-todos. Aunque esta topología ofrece conexiones multipunto-a-multipunto, hay que destacar que no escala bien cuando el número de participantes es elevado.
- Una alternativa al anterior esquema es el uso de un servidor que actúa a modo de raíz en el árbol multipunto. Este método sólo requiere un nodo raíz para almacenar información, pero la desventaja de este método son las potenciales congestiones en el servidor cuando debe encargarse de envíos y retransmisiones de las conexiones multipunto-a-multipunto.

Para solventar las limitaciones de UNI 3.0 y UNI 3.1 [18] que soportan conexiones uno-a-muchos, pero no directamente (nativamente) conexiones muchos-a-muchos, y ofrecer a ATM verdadero servicio multicast, ATM Forum, ITU-T e IETF han realizado varias propuestas al actual mecanismo de señalización ATM (UNI 3.1, UNI 4.0), [9-22,70].

## 2.3. PROTOCOLOS NATIVOS ATM

ATM Forum ha definido las especificaciones [5,23] y también existen importantes investigaciones [1,24] en torno a los protocolos nativos ATM. En esta sección se muestran las propuestas más importantes y actuales en materia de protocolos nativos ATM [2, 3, 24-34] que, a su vez, están sirviendo de base para nuevas investigaciones.

Las referencias [2, 26] presentan el diseño, implementación y comportamiento de una pila en modo nativo ATM y contrasta la semántica de su capa de transporte con TCP. Este trabajo es diferente a IP-over-ATM, y justifica el uso de la pila nativa ATM para solventar automáticamente los siguientes problemas:

- IP-over-ATM no ofrece garantía de QoS pues sus aplicaciones sólo "ven" la interfaz IP.
- El núcleo de los sistemas operativos y los sistemas finales son sobrecargados con considerable complejidad pues el subsistema IP-over-ATM debe encargarse de las peticiones de la señalización.
- IP-over-ATM debe emular el routing IP sobre conexiones punto-a-punto de la red ATM, lo que supone pagar un elevado precio en prestaciones.

La capa de transporte propuesta en [2,26] ha sido construida para minimizar el overhead y para obtener ventaja de AAL-5. Ofrece, entre otras características, la entrega fiable y no fiable de datos con control de flujo. Este protocolo de transporte es ampliado en la sección 4.

La referencia [3] presenta $N^3$ (Native Non-broadcasting medium access Networking) un protocolo de transporte ligero y nativo ATM. La pila $N^3$ se ha diseñado para ofrecer servicios multimedia a comunidades residenciales. El documento describe una arquitectura capaz de ofrecer aplicaciones nativas ATM. La pila de protocolo de transporte $N^3$ se basa en implementaciones previas [2,26] y, además, aporta otras importantes novedades. Los principales componentes de $N^3$ incluyen una API sockets ATM nativa, un protocolo de transporte ATM y un servicio de nombres ATM (ver *Figura 2.2*).

El protocolo de transporte ATM propuesto en [3] ofrece soporte para tres diferentes tipos de servicio: entrega garantizada (mecanismos de retransmisión), velocidad garantizada (mecanismo leaky bucket) y servicio best-effort. Otro objetivo principal de la pila ATM es su compatibilidad con aplicaciones tradicionales sin necesidad de recompilaciones.

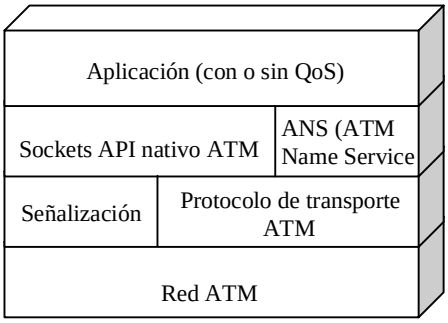


***Figura 2.2.*** *Visión de alto nivel de la pila de protocolos $N^3$* [3]

El trabajo [27] presenta una arquitectura de servicio ATM en modo nativo ATM capaz de ofrecer a las aplicaciones nativas ATM acceso completo a las CoS ATM. Los elementos de la arquitectura propuesta se responsabilizan de las transferencias eficientes de datos sobre ATM, del control de errores extremo-extremo, del control de flujo y congestión de la transferencia de datagramas y de la multiplexación de VC. La referencia [27] introduce los componentes de la arquitectura, sus funcionalidades y capacidades. Los mayores esfuerzos del protocolo se centran en maximizar la efectividad del rendimiento *extremo-extremo* en canales de datos que usan la CoS UBR.

La *Figura 2.3* presenta los elementos de Native Mode Service Architecture donde el Flow Management es el componente más importante. El Flow Management se responsabiliza de manipular los flujos de datos desde y hasta la red vía la interfaz AAL. La segmentación, el reensamblado y el control de errores es también realizada por esta entidad. Para las CoS CBR, VBR y ABR se emplea un sencillo esquema de control llamado Back-Pressure Flow. Para servicios UBR se emplea un control de congestión y de flujo extremo-extremo más complejo.

Por otro lado, [25] describe la semántica de una pila de protocolos y explora una nueva arquitectura de protocolo adaptada a la tecnología ATM y a las aplicaciones multimedia. El diseño está basado en tres principios básicos: separación de flujos de control y de datos; minimización del overhead y de la duplicidad de funciones; y acceso de las aplicaciones al nivel ATM con garantías de QoS.

La idea es mezclar el soporte nativo ATM en la estructura existente del protocolo (*Figura 2.4*) que muestra dos caminos separados en el protocolo: la familia nativa ATM y la familia del protocolo IP. Las

aplicaciones que tienen acceso transparente a la red ATM usan la familia del protocolo PF_INET. El mapeo de IP en ATM es gestionado por la interfaz de red ATM (IF_ATM) usando el protocolo IP-over-ATM.

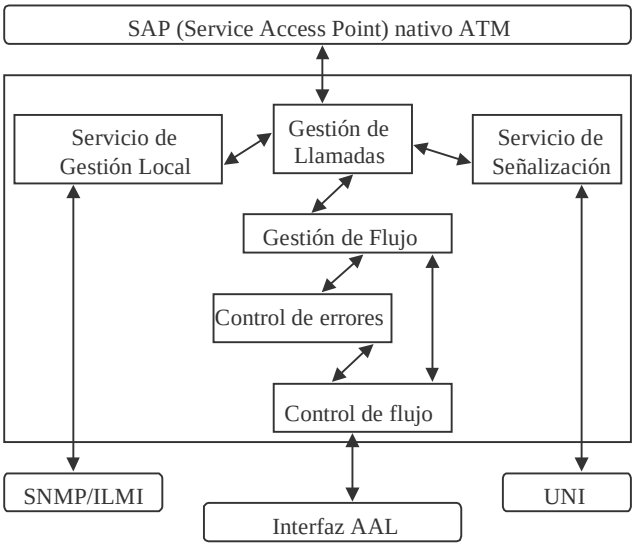


***Figura 2.3.*** *Arquitectura de servicio nativo ATM* [27]

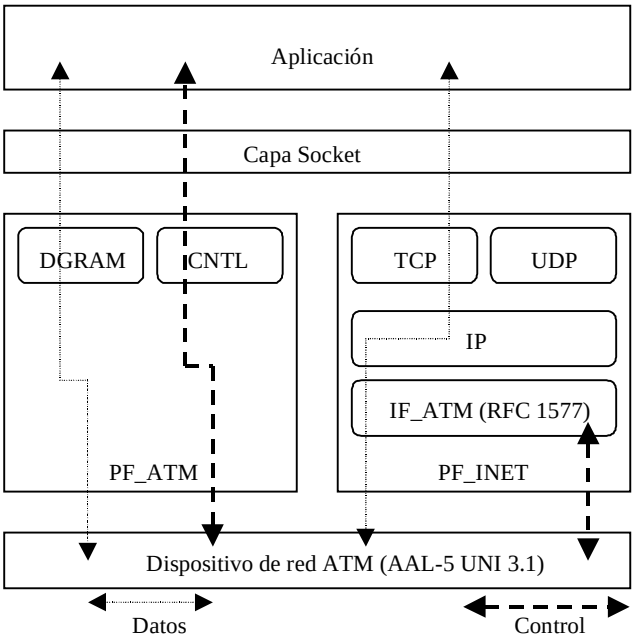


***Figura 2.4.*** *Descripción de alto nivel de la arquitectura de protocolo* [25]

La interfaz Native ATM está constituida por la familia de protocolos PF_ATM que es directamente soportada encima del dispositivo de red ATM sobrepasando la capa interfaz de red. El módulo CNTL abre una conexión de señalización con el dispositivo ATM y establece una gestión de las llamadas de mensajes de configuración.

PF_ATM separa flujos de datos y de control para aliviar el límite de rendimiento en las comunicaciones. Esto permite a los mecanismos de control de tráfico ser rápidos y sencillos, mientras los mecanismos de control pueden ser tan complicados como sea necesario. Esta separación permite también que los dispositivos puedan estar en los puntos finales de una conexión.

La interfaz PF_ATM aporta a las aplicaciones acceso directo a la capa de enlace ATM y extiende las

garantías de QoS a los puntos extremos de la comunicación.

Un segundo prototipo [25] es diseñado e implementado con dos objetivos principales para la mejora de la pila nativa ATM:

- Optimizar los caminos de datos entre los adaptadores ATM aprovechando la separación de flujos de control y de datos y la capacidad de gestión de datos específicos de las conexiones de la pila ATM.
- Optimizar el procesamiento de overheads usando una pila de protocolos nativo ATM en lugar de UDP/IP.

La referencia [33] introduce CONGRESS (CONnection oriented Group-address RESolution Service), otro eficiente protocolo nativo ATM para la resolución y gestión de direcciones de grupos multicast en una red ATM. El servicio CONGRESS resuelve direcciones de grupo multicast y mantiene los miembros pertenecientes a esos grupos para uso de las aplicaciones. CONGRESS sirve de soporte al servicio IMSS [32] presentado en la sección 7, y ofrece escalabilidad con su diseño basado en los dos siguientes principios:

- Diseño jerárquico: los servicios del protocolo son ofrecidos a las aplicaciones por múltiples servidores organizados jerárquicamente.
- No inundación: se evita la inundación de la WAN en cada cambio de grupos multicast.

La propuesta descrita en [34] presenta kStack, una nueva capa de transporte nativa ATM en el espacio de usuario con soporte de QoS. Esta implementación sobre Unix y Windows NT está basada y es compatible con los trabajos originales de Ahuja, Keshav y Saran [2, 26] Native-Mode ATM Stack comentados anteriormente. El protocolo kStack es similar al original, pero se ha modificado sustancialmente en los siguientes aspectos:

- Ha sido implementado en el espacio de usuario.
- Se ha ampliado, implementando una capa de transporte con QoS.
- Se ha añadido un módulo que monitoriza la QoS extremo-a-extremo.

Kstack es por tanto una implementación en el espacio de usuario de una pila de protocolos en modo nativo ATM sobre la capa de transporte. Soporta QoS para monitorización y adaptación del nivel de aplicación. La QoS es monitorizada para cada conexión extremo-a-extremo e independientemente del resto de conexiones.

## 2.4. PROTOCOLOS DE TRANSPORTE PARA REDES ATM

El crecimiento de las redes ATM viene motivado, en parte, por la demanda de servicios multimedia para grupos dispersos de usuarios. El tráfico multicast tiene características particulares descritas para ATM en UNI 4.0 [22] y anteriores [2,3,18]. La distribución de información punto-a-multipunto (uno-a-muchos), multipunto-a-punto (muchos-a-uno) o multipunto-a-multipunto (muchos-a-muchos) es un objetivo básico propuesto por varios protocolos y arquitecturas ATM. Estos protocolos y arquitecturas ofrecen el soporte multimedia y/o multicast como audio-conferencia, video-conferencia, trabajos colaborativos o VoD.

En los últimos cinco años ha habido numerosos e interesantes intentos por diseñar protocolos de transporte. La referencia [31] presenta un completo, y ya clásico, resumen de las propuestas más interesantes en materia de protocolos de transporte para redes de alta velocidad (mayoritariamente IP en el artículo). Además, la referencia [35] ofrece una interesante visión de las características más importantes en los protocolos de elevada velocidad. Son estudiadas también diversas arquitecturas de protocolos y varias técnicas de implementación.

Los protocolos de transporte de elevada velocidad son fuente de activas investigaciones y están en constante evolución desde hace más de dos décadas, lo que nos impide ser exhaustivo en este resumen.

Uno de los componentes del ámbito de las comunicaciones que ha recibido mayor atención es la capa de transporte, la cuarta capa del *OSI-RM* de los protocolos de comunicaciones. TCP e ISO TP4 son los dos más populares protocolos de transporte.

Centrándonos más concretamente en el ámbito de ATM, la literatura presenta varios protocolos de transporte y arquitecturas para redes de alta velocidad. A continuación se revisan resumidamente los mas representativos.

La propuesta [25] ofrece una excelente y didáctica arquitectura de pila de protocolos para aplicaciones

multimedia en modo nativo ATM. Esta arquitectura de protocolo ha sido ya descrita brevemente en la sección anterior.

Los trabajos [2 y 26] presentan el diseño, implementación y comportamiento de un protocolo situado en la capa de transporte ATM. Esta es una brillante propuesta en la que se puede destacar que la pila ATM está formada por tres entidades principales: las entidades de aplicación y señalización en el espacio de usuario y la entidad de transporte dentro del kernel (*Figura 2.5*).

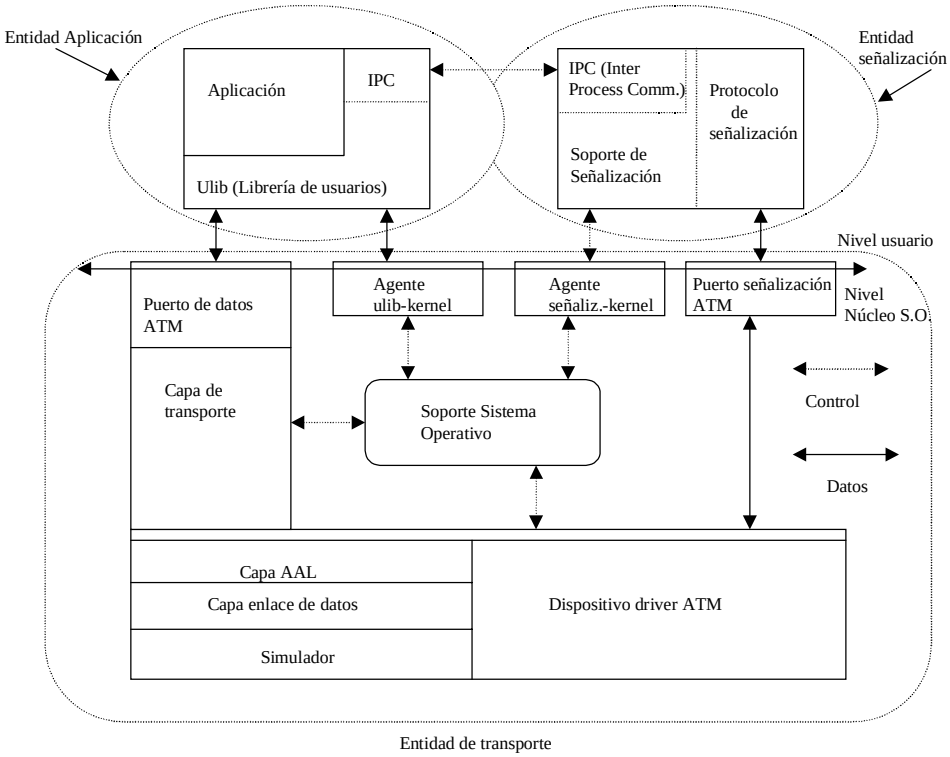


***Figura 2.5.*** *Componentes de la pila ATM (descripción abstracta y entidades)* [2, 26]

La entidad transporte, dentro del núcleo del sistema operativo, se responsabiliza de la transferencia de datos a través del kernel del sistema operativo bajando hasta los adaptadores que ofrecen transporte AAL-5. También realiza llamadas de admisión y asigna los recursos a los VCI para garantizar QoS (ancho de banda y retardo).

La entidad transporte consiste en tres componentes: la capa de transporte, el driver y un módulo de soporte para el sistema operativo. La capa de transporte ofrece circuitos virtuales simplex, control de errores y control de flujo. En suma, segmenta los buffers de la capa de aplicación en TPDUs (Transport Protocol Data Unit) y el reensamblado es realizado por el nodo receptor.

La TPDU es la unidad de transmisión y cada TPDU corresponde a una trama AAL-5 la cual es, como mucho, de 64 Kbytes de larga. Si el mensaje de usuario es mayor de este tamaño, éste debe ser fragmentado por la capa de transporte que será reensamblado después por el receptor. La unidad de detección de error y de retransmisión es también la TPDU para maximizar la eficiencia de las retransmisiones y para minimizar el overhead por segmentación y reensamblado.

Para una conexión fiable, la pérdida o corrupción de datos debe ser retransmitida. Esto es hecho en la capa de transporte usando un novedoso esquema de retransmisión descrito en el artículo. La capa de transporte no realiza checksumming pues es ya desempeñado por la capa AAL.

La *Tabla 2.1* muestra un conjunto de nueve básicos servicios ortogonales que pueden ser combinados para obtener los requerimientos de determinadas aplicaciones. Actualmente, la capa de transporte referenciada en [2,26] soporta tres clases de servicio o combinación de servicios. La marca **X** indica el servicio básico soportado en cada clase de servicio general.

***TABLA 2.1.*** *SERVICIOS ORTOGONALES Y CLASES DE SERVICIO*

| | **Clases de servicio** | | |
|---|---|---|---|
| **Servicios** | **Servicio de comportamiento garantizado** | **Servicio fiable** | **Servicio *Best effort*** |
| - Transferencia Simplex de datos | X | X | X |
| - Control de errores | - | Detección de errores,*timeouts*, retransmisiones | No existente (ofrecido por AAL-5) |
| - Bucle abierto<br>- Control de flujo realimentado | No existente<br>- | -<br>X | -<br>No existente |
| - Tamaño de mensaje ilimitado | X | X | X |
| - Elección de blocking<br>- Aplicación Non-blocking | X<br>X | X<br>X | X<br>X |
| - Elección de byte stream<br>- Semántica transferencia de mensajes | X<br>X | X<br>X | X<br>X |
| - Garantías de QoS | Requerimientos de ancho de banda | No soportado | No soportado |
| - Reserva de recursos | X | No existente | No existente |
| - Transferencias Multicast | X | No soportado | Para servicios no fiables |

La capa de transporte es esencialmente completa y operativa, pero sus autores destacan que el esquema tiene un problema de justicia debido a las limitaciones del hardware usado. También proponen nuevas áreas para la investigación en la implementación de Resource Manager y en la posibilidad de que el protocolo ofrezca servicio multicast fiable.

En la referencia [36] SHiPP (Super High speed Protocol Processor) se propone una arquitectura programable para el procesamiento de protocolos que incrementa la velocidad mediante técnicas de procesamiento paralelo. Esto es conseguido ejecutando varios procesos hardware en paralelo y cada proceso hardware también ejecuta otro número de pequeñas funciones en paralelo. En este trabajo, SSCOP [37] es usado como un protocolo *benchmark* para SHiPP.

El trabajo [38] resuelve el soporte de HPDC (High Performance Distributed Computing) sobre redes ATM. Los autores sugieren modificaciones en los mecanismos de recuperación de pérdidas del protocolo estándar SSCOP [37] y demuestran que el resultado ofrece baja latencia, eficiente recuperación de células perdidas y es tan robusto como el estándar SSCOP.

Por último, la referencia [39] presenta un fiable y adaptativo protocolo de transporte para soporte de video VBR. Este protocolo minimiza el retardo extremo-extremo y la variabilidad en el retardo de tramas; minimiza los requerimientos de buffers y garantiza que los flujos de video VBR no experimenten pérdidas. Los autores demuestran la adaptabilidad de este protocolo y cómo éste minimiza el retardo y su variabilidad extremo-extremo presentando un algoritmo justo de asignación de buffer/ancho de banda.

## 2.5. PROTOLOS MULTIPOINT

Comenzamos destacando la referencia [40] como trabajo que revisa y compara los protocolos de transporte *multicast* más importantes en Internet como MTP-2, XTP, RTP, SRM, RAMP, RMTP, MFTP, STORM, etc. IETF e IRTF (como ITU-T y ATM Forum) también impulsan una importante actividad en este campo. La referencia [40] revisa los más representativos protocolos multicast y los clasifica de acuerdo a la taxonomía de varias características (propagación de datos, mecanismos de fiabilidad, retransmisiones, control de congestión y de flujo, gestión de grupos multicast, etc.). En Internet los mecanismos efectivos de control de congestión son una de las prioridades en las investigaciones de las transferencias multicast fiables. Los mecanismos de seguridad y las técnicas escalables de recuperación de errores son algunos de los aspectos actualmente en estudio en el campo de los protocolos de transporte multicast.

Hasta este punto hemos revisado algunos protocolos de transporte ATM y hemos citado sus más importantes características. En esta sección comentaremos los problemas asociados a las transferencias multicast uno-a-muchos o muchos-a-muchos. Actualmente no existen excesivas propuestas en esta importante faceta para ATM, pero vamos a resumir algunas de las más interesantes en los siguientes párrafos.

SMART (shared many-to-many ATM reservations) [14] es un protocolo para controlar un árbol ATM multicast compartido soportando comunicaciones muchos-a-muchos (many-to-many). Esta propuesta tiene

importantes características como que: reside completamente en la capa ATM y no requiere ningún servidor; soporta uno o varios VCC (y también VPC) cuyo número es libremente configurado y es independiente del número de puntos finales; usa el concepto de bloques de datos como en la clase de servicio ABT [20,23,41-49] y también permite VCC de las clases CBR, VBR o UBR; el protocolo garantiza que no existen puntos de interrelación en los VCC del árbol; son respetadas las garantías del contrato de tráfico asociado con los VCC, etc.

SMART puede ser entendido como un protocolo completamente distribuido para coordinar la distribución de los VPI/VCI.

Para solventar las conocidas dificultades debidas al soporte y uso de muchos-a-muchos VCC, SMART usa el mecanismo de Cell Interleaving (sobre un VCC muchos-a-muchos, las células de datos desde diferentes fuentes pueden llegar intercaladas a un destinatario) y también Demand Sharing (los recursos asignados a conexiones muchos-a-muchos son dinámicamente compartidas entre todas las fuentes potenciales.

El artículo [14] describe el protocolo SMART formal e informalmente, y propone completas pruebas de corrección y un detallado análisis de comportamiento para estudios futuros. También son sugeridas otras investigaciones como son: ofrecer justicia en los accesos a los árboles multicast; investigar las células RM periódicamente para aliviar las congestiones en la red o disminuir el tiempo de acceso del usuario a los árboles de distribución multicast; análisis de las células RM dentro de cada VCC o fuera enviando todas las células RM en un VCC dedicado.

En [4] se presenta MWAX un algoritmo dinámico y escalable para routing multicast en el marco PNNI de redes ATM. Los autores han identificado el problema para conseguir la escalabilidad con protocolos multipunto-a-multipunto y se proponen soluciones para este problema. El artículo describe un esquema jerárquico basado en CBT para incorporar routing multipunto-a-multipunto en PNNI. En el algoritmo los nodos core actúan como participantes pasivos para eliminar la dependencia en la selección de estos nodos. Con un mecanismo de backup se consigue un algoritmo tolerante a fallos en los nodos *core*, lo cual puede ser fácilmente extendido para incorporar QoS en el routing multicast. El protocolo-algoritmo MWAS es recursivo, esto es, el mismo protocolo es ejecutado en cada nivel de la jerarquía.

SEAM (Scalable and Efficient ATM Multicast) [50] propone una arquitectura escalable, eficiente y multicast multipunto-a-multipunto para redes ATM que usa un sólo VC para un grupo multicast de múltiples emisores y receptores y todo ello sin realizar cambios en la capa AAL-5 de ATM. Esta propuesta permite a los grupos multicast aprovechar el soporte de QoS y la escalabilidad del ancho de banda. También realiza aportaciones para conseguir soportar IP multicast sobre redes troncales ATM.

SEAM usa un sólo árbol de distribución compartido para todos los emisores y receptores. Cada grupo multicast tiene un *core* asociado, el cual se usa como punto focal para todos los mensajes de señalización del grupo. Este trabajo deja abiertas investigaciones referentes a la gestión de tráfico y a la entrega fiable de tráficos multicasting.

Concluimos esta sección destacando MCMP (Multiparty Conference Management Protocol) [51] que, sin estar pensado específicamente para ATM, es un protocolo de nivel sesión/transporte distribuido *extremo-extremo* y desarrollado para gestión de grupos de aplicaciones de conferencia. MCMP es un conjunto de algoritmos de control distribuido para configuración de conferencias multipunto y gestión de miembros de grupos de usuarios.

Conceptualmente, MCMP reside en el nivel de sesión en el que se establece la infraestructura para activar la transferencia de información entre los participantes en la conferencia. Pero funcionalmente, el protocolo acompasa los niveles de sesión y de transporte pues utiliza directamente servicios del nivel de red. Son destacables las condiciones de corrección (conectividad, validación, unicidad, consistencia y terminación) que deben ser satisfechas una vez que la conferencia ha sido definida por el algoritmo de configuración de MCMP. El artículo muestra exhaustivas pruebas de corrección para uno de los algoritmos, y también describe la especificación y verificación del protocolo.

## 2.6. INTEGRACIÓN IP-ATM

Como ya se ha comentado, ATM aporta elevadas prestaciones como son la escalabilidad de su ancho de banda (desde pocos Mbps hasta varios Gbps), su rendimiento (alta capacidad o velocidad) y su habilidad para integrar y soportar datos, audio y video (tráfico multiservicio). Por otro lado, IP ofrece también atractivas características como su simplicidad, su filosofía abierta y el soporte sobre entornos LAN, MAN y WAN.

Estas y otras causas como la creciente expansión de las aplicaciones IP y la actual implantación y uso de redes ATM ha impulsado el rápido crecimiento de ambas tecnologías y en la actualidad existen diversos intentos por combinar las ventajas de ATM e IP para ejecutar aplicaciones Internet sobre redes de tecnología ATM. Esta migración permite a los protocolos y aplicaciones IP disfrutar de las elevadas prestaciones de ATM. Pero la emulación de IP sobre ATM genera comportamientos no óptimos debidos a las diferencias fundamentales entre ambas tecnologías como, por ejemplo, que mientras ATM es una tecnología orientada a la conexión, IP es un protocolo sin conexión. Además, IP tiene problemas para soportar aplicaciones multimedia y/o en tiempo real, mientras éstas son la principal característica para ATM. Por otro lado, ATM tiene problemas para soportar servicios multipunto, mientras IP tiene resueltas sus posibilidades multicast.

En la literatura existen diversas investigaciones para implementar el protocolo IP sobre redes ATM como: classical IP over ATM, LANEmulation, IP switching, Tag switching, Address resolution NARP, next hop resolution NHRP, MPOA y MPLS.

El principal problema para integrar IP y ATM es aprovechar la velocidad y rendimiento de la tecnología de conmutación y también la escalabilidad y flexibilidad de IP por no ser orientado a conexión. Además, las diferencias comentadas entre ambas tecnologías causan duplicaciones de funcionalidad (IP y ATM requieren sus propios protocolos de routing y funciones de mantenimiento y gestión).

El RFC 1577 del IETF Classical IP over ATM es un intento por ejecutar TCP/IP sobre ATM usando el entorno conmutado ATM como enlace de datos para IP [10]. Se plantea el problema de que mientras IPoverATM ofrece una plataforma para comunicación de datos sobre redes heterogéneas, las aplicaciones IP no se pueden beneficiar de las características de QoS de ATM porque la naturaleza de IPoverATM “esconde” las capas por debajo de ATM para poder conseguir el acceso transparente para IP. Algunos de los principales problemas para integrar IP sobre ATM residen en la implementación de IP multicast sobre ATM. Las referencias [10-13] son una excelente literatura en el campo de IP multicast over ATM. Además, la referencia [29] presenta una comparación del ATM-multicast nativo con IP-multicast enfatizando el mapeo entre ambos.

IMSS (IP Multicast Shortcut Service) [32] presenta una solución novedosa para IP multicast sobre redes ATM de área extensa. El gran problema es escalar adecuadamente en un entorno ATM amplio, e IMSS supera los problemas de escalabilidad con una mezcla dinámica de servidores multicast y de conexiones directa y completamente malladas. IMSS es un servicio best-effort de IP-multicast sobre ATM.

NHRP (Next Hop Resolution Protocol) ha sido desarrollado con la intención de facilitar inter-LIS (Logical IP Subnets) VC con el objetivo de aprovechar los beneficios potenciales de ATM que no son empleados en los métodos clásicos como IP over ATM. NHRP es un mecanismo de resolución de direcciones que mapea una dirección IP de destino en una dirección ATM de destino. Aunque NHRP supera algunas de las debilidades de IP over ATM, cuenta también con sus propias limitaciones como la imposibilidad para soportar multicast [52].

IP switching y Tag switching son dos técnicas actuales de conmutación propuestas para ofrecer a las redes ATM mecanismos de routing IP. Ambas están basadas en un mecanismo de intercambio de etiquetas, pero sus implementaciones son diferentes. La referencia [53] demuestra que ambas técnicas mejoran el routing IP clásico, aunque entre ellas no se encuentran diferencias espectaculares en cuanto al rendimiento se refiere. A continuación se comentan brevemente estos dos mecanismos de conmutación.

IP switching (ATM bajo IP) es una alternativa para obviar la conexión extremo-extremo de ATM e integrar su hardware directamente con IP preservando su característica nativa de no orientación a conexión. Para ello implementa IP directamente sobre el hardware ATM mientras mantiene el modelo no orientado a la conexión característico de IP. IP switching soporta también IP multicast y, como la conexión extremo-extremo es desechada, no se necesitan la señalización ni el direccionamiento, siendo únicamente necesarios los protocolos estándares de routing IP. Un conmutador IP es idéntico a un conmutador ATM, sin modificación hardware alguna, pero al que se ha eliminado completamente el software residente en el procesador de control bajo AAL-5 (señalización, protocolo de routing, resolución de direcciones, etc). Constan de GSMP (General Switch Management Protocol) que es un protocolo de bajo nivel para controlar y permitir el acceso del conmutador hardware al controlador de acceso del conmutador IP. El controlador del conmutador IP ejecuta software estándar de routing IP con extensiones como IFMP (Ipsilon Flow Management Protocol) que se encarga de asociar los flujos IP con circuitos virtuales ATM. IFMP puede ser visto como un protocolo de señalización, aunque se ejecuta independiente en cada link y simplemente asocia una etiqueta local con un flujo IP.

Mientras otros métodos (IPoverATM y LANE) proponen un modelo de red como medio lógico compartido encima de la red ATM, IP switching propone un modelo de red más natural para ATM basado en

técnicas punto-a-punto en lugar de usar el modelo clásico de nube [54].

IP switching separa cuidadosamente los actos de etiquetar y conmutar un flujo lo que le permite asegurar la escalabilidad en redes extensas. El etiquetado o la conmutación para un link particular no afecta al resto de las redes.

CSR (Cell Switch Router), como IP Switch, usa un protocolo para ligar un flujo a un VCI y, por tanto, sólo se necesita un único VCI en el controlador del conmutador. La propuesta CSR permite el uso de PVC o SVC en una red ATM. El mecanismo CSR híbrido conmutador/router dispone de todas las funciones habituales en los routers IP y es capaz de ofrecer un servicio de reenvío IP no orientado a la conexión [52].

Por otro lado, la técnica de Tag switching emplea una componente de control y otra de reenvío. El control se encarga de crear y mantener un Tag Information Base (TIB) sobre un grupo de routers tag-switching interconectados. La componente de reenvío usa las entradas existentes en la TIB y la etiqueta de cada paquete para realizar el reenvío de los paquetes a sus correspondientes routers. La información es distribuida entre routers Tag-switched mediante el protocolo TDP (Tag Distribution Protocol).

Para la asignación de una etiqueta a una ruta existen tres esquemas en Tag switching: [53]

- Downstream allocation: esquema llamado así porque las etiquetas salientes son asignadas por los nodos ya atravesados por el flujo de paquetes. El router Tag-switched crea en su TIB una entrada para cada ruta existente en su tabla de rutas. El router asigna una etiqueta a esa ruta y la almacena como etiqueta entrante en su TIB, avisando del hecho a sus routers Tag-switched adyacentes. Cuando las entradas de una ruta han concluido pueden ser usadas por la fase de reenvio.
- El esquema Downstream-on-demand allocation es similar al anterior, salvo en que un router Tag-switched aún no atravesado por el flujo, se encarga de solicitar a los ya pasados una etiqueta para una ruta específica.
- En el esquema Upstream allocation las etiquetas son asignadas por los nodos aún no alcanzados por el flujo, mientras los nodos alcanzados son notificados.

ARIS (Aggregated Route-Based IP Switching) es, como Tag-switching, una aproximación a IPoverATM que proponen asignación de etiquetas en función de la topología de la red. Las etiquetas son asignadas en función de la información obtenida por los protocolos de routing, y las conexiones virtuales son establecidas antes de que el tráfico sea recibido [54]. ARIS introduce el concepto de *egress identifier* para definir granularidad. Para cada valor de identificador de salida el protocolo ARIS establece un árbol multipunto-a-punto [52]. ARIS, como Tag-Switching, soporta multicast.

Aparte de las técnicas de conmutación IP que acaban de comentarse existe también la propuesta oficial del ATM Forum que es MPOA (MultiProtocol Over ATM) basada en otras tecnologías existentes como LANE (que ofrece puenteo de nivel 2) y NHRP (que ofrece encaminamiento de nivel 3). Al combinar puenteo y encaminamiento, MPOA es capaz de soportar protocolos encaminables y no encaminables (IP, IPX, DECnet, AppleTalk, etc.) lo que aporta el calificativo multiprotocolo a MPOA. Aunque no ofrece QoS directamente, ésta es proporcionada por LANE, lo mismo que el soporte multicast. Es importante destacar también que existen investigaciones en marcha para permitir la interoperación entre MPOA y RSVP. MPOA simplifica las comunicaciones entre redes virtuales y, como reduce el protagonismo de los routers en el envío de tráfico, permite obtener mejoras de rendimiento. Los otros métodos de conmutación más importantes (IP Switching y Tag-Switching) quizás aporten mejores prestaciones en cuanto a soporte multicast, QoS y a gestión de tráfico. MPOA ofrece emulación transparente de protocolos enrutados sobre red ATM, lo mismo que LANE ofrece emulación transparente de protocolo LAN sobre red ATM. MPOA opera a niveles 2 y 3 y algunos de sus principales aspiraciones son: permitir a los dispositivos MPOA establecer conexiones ATM directas; integración con LANE; soporte de multicast y broadcast; y separación de conmutación y routing.

Sobre todo cabe destacar que, mientras las propuestas de IETF se preocupan por soportar IP sobre todas las tecnologías estructuradas en capas (ATM es una de ellas), ATM Forum intenta solventar que todos los protocolos de nivel 3 (IP es uno de ellos) se ejecuten sobre ATM.

Existe otra gran familia de soluciones para el soporte de tráfico de datos TCP sobre la clase de servicio ATM-UBR que se encargan de ofrecer rendimiento, justicia y de mantener controlado el retardo. Como veremos en capítulos siguientes, nuestra arquitectura propone en el sistema multiagente un agente programable que se encarga de aplicar este tipo de técnicas a los flujos privilegiados. Comentamos brevemente aquí esta familia de soluciones que no pueden ser considerados como protocolos, para describirlas detalladamente en el Capítulo 5. PPD (Partial Packet Discard), EPD (Early Packet Discard), RED

(Random Early Detection) y FBA (Fair Buffer Allocation) son algunos de los esquemas de gestión de buffers ATM pensados para ofrecer elevado rendimiento y justicia.

EPD es una técnica para mantener la integridad de los paquetes mientras se producen sobrecargas en los conmutadores ATM. Esta técnica de gestión de buffers ATM asegura elevado rendimiento extremo-extremo para aplicaciones que generan datos a ráfagas durante periodos de sobrecarga. En realidad, EPD es uno o varios de los mecanismos propuestos para la gestión de congestiones en redes ATM. La referencia [55] presenta un estudio sobre el comportamiento de EPD ante diferentes dimensiones en los buffers, buscando el punto de compromiso adecuado entre la capacidad de éstos y el correcto comportamiento de EPD.

Por otro lado, PPD es otro conocido esquema de control de congestión para ATM-UBR. PPD descarta las células después de rebasar el tamaño del buffer. La diferencia con EPD es que PPD descarta partes de paquetes. En [56] se observa como PPD alivia el efecto de fragmentación de paquetes, a la vez que presenta una variante de EPD consiguiendo mejorar los parámetros de rendimiento y justicia ofrecidos por este esquema.

RED es otra técnica para mantener elevado rendimiento mientras se minimiza el retardo en la clase de servicio UBR. RED controla el tamaño medio de la cola y se deshace de los paquetes cuando cambia la carga de la red. RED también identifica las conexiones que comparten elevados anchos de banda [57].

El protocolo AREQUIPA (Application REQuested IP over ATM) [58] es un mecanismo que permite a las aplicaciones IP solicitar SVC con QoS garantizada. El RFC 2170 describe este protocolo como un mecanismo para establecer conexiones ATM extremo-a-extremo.

Hay que destacar otro planteamiento general en cuanto a la integración de IP con ATM. En este caso se trata del protocolo RSVP (Resource ReSerVation Protocol) pensado para ofrecer QoS a los flujos IP o IPQoS. IP ofrece entrega best-effort de datagramas que es suficiente para servicios clásicos como correo electrónico, WWW o transferencias de correo. Sin embargo, las aplicaciones multimedia requieren las garantías de servicio que IP no ofrece, por lo que IETF ha creado el grupo de trabajo Integrated Services cuyo principal objetivo es el soporte eficiente en Internet de aplicaciones que requieran garantías de servicio. En este contexto se ha desarrollado RSVP como un protocolo de señalización para Internet encargado de potenciar las redes IP para ofrecer QoS extremo-extremo y no relacionado con ATM, aunque sus objetivos sean los mismos. No obstante, existen trabajos en desarrollo pensados para la interrelación de RSVP con ATM.

Otra novedosa propuesta donde la integración de IP y ATM es una aspiración importante, es MPLS (Multi Protocol Label Switching) [69]. MPLS propone el reenvío de paquetes basado en etiquetas que son asignadas cuando los paquetes entran en la red. Los nodos MPLS reenvían los paquetes y/o células ATM basándose en las etiquetas, en lugar de fijarse en la información IP. Esto permite el reenvío del tráfico de la misma forma, tanto en los conmutadores ATM como en los routers. Sin embargo, el encolado ATM viene dado por los valores de las etiquetas (VCI), y el encolado en los routers está determinado por los valores de determinados bits de la cabecera. Es importante destacar que los conmutadores ATM no pueden analizar las cabeceras de la capa 3, y que las etiquetas pueden ser distribuidas por diferentes protocolos como LDP, RSVP, PIM, BGP, etc.

Concluimos este apartado destacando que otro campo abierto a investigaciones futuras es la integración de protocolos ATM e IP cuando se usan aplicaciones nativas ATM. Sin embargo, no existen demasiadas propuestas en este campo [3].

## 2.7. NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En todas las redes existen gran variedad de elementos hardware (switchs, routers, bridges, brouters, hubs, ETD, etc.) que realizan muy diversas funciones (conmutación, routing, puenteo, controles de congestión y de flujo, garantía de QoS, ejecución de aplicaciones, etc.). En la actualidad la red es mayormente un canal de comunicación para transferir paquetes entre equipos finales (ayudada por los elementos hardware citados). Pero también se están realizando importante esfuerzos para equipar a los elementos hardware con elevadas prestaciones aportadas por diversas técnicas software. Esto dota a la red de características activas (active networks) en el sentido que los elementos hardware que la componen computan, modifican u operan los contenidos de los paquetes y también serán capaces de transferir o propagar código. Por tanto, una red activa es una red programable que permite que el código sea cargado dinámicamente en tiempo de ejecución en los nodos de la red.

Las redes activas, abiertas y programables son un nuevo área técnica para explorar vías por las que los elementos de la red puedan ser dinámicamente programados por los administradores de la red, operadores de

red o por usuarios generales con la intención de conseguir QoS y otras características como servicios personalizados. Todo esto aporta atractivas ventajas, pero también importantes cambios en aspectos como el rendimiento, la seguridad y la fiabilidad. Por tanto, esta es una importante línea abierta para investigar y desarrollar técnicas de enrutamiento y protocolos que permitan el movimiento del código, situado en la capa de transporte, hasta los nodos de conmutación de la red.

La literatura estudia varios mecanismos en este campo para obtener ventaja de los nodos activos. El artículo [59] es una excelente revisión de este interesante campo de investigación que discute dos planteamientos en la realización de redes activas: la idea del conmutador programable y el concepto de cápsula. También [60-64] son interesantes referencias de la literatura existente en este tema. Una red es activa si en sus árboles de distribución multicast existen nodos activos con capacidad para ejecutar programas e implementar mecanismos de propagación de código. Algunas de las ventajas de los protocolos activos son conseguidas instalando nodos activos en puntos estratégicos de la red.

Otro nuevo concepto es presentado en [65] como una metodología para el diseño de protocolos. Los *protocol boosters* son una nueva contribución a las redes activas o programables. Una ventaja de los boosters es que pueden ser fácilmente "inyectados" en los sistemas actuales sin provocar cambios en la infraestructura de red.

Por otro lado, [66] propone el concepto de agente de comunicaciones para servicios de comunicaciones multimedia en redes de área extensa. Este artículo introduce una arquitectura software orientada a agente y propone el concepto de agente de comunicación para servicio de comunicación multimedia. Los servicios multimedia son expresados como agentes.

Los conceptos como redes activas, protocolos boosters o agentes software han sido propuestos y desarrollados para redes IP, sin embargo, la actividad empieza a notarse en las redes ATM, y la referencia [67] es una de esas recientes investigaciones. Este artículo muestra agentes software móviles usados para implementar operaciones robustas y funciones de mantenimiento en redes ATM. Los agentes desempeñan un rol similar al de las células OAM en ATM estándar, pues son transmitidos entre entidades de control a intervalos regulares usando recursos predefinidos. La diferencia entre los agentes móviles y las células OAM reside en que éstos pueden contener código.

Por último, destacamos que el IEEE ha propuesto el modelo de referencia IEEE P1520 [68] como el estándar para los interfaces de red programables, que están siendo aplicado a redes ATM, IP y SS7.

En este contexto de las redes activas y agentes software es donde hemos centrado parte de las investigaciones de esta tesis, por lo que dedicamos específicamente el *Capítulo 6* a presentar los aspectos técnicos relacionados con este interesante campo, así como nuestras aportaciones.

## 2.8. TAP COMO ARQUITECTURA PARA EL SOPORTE DE PROTOCOLO ACTIVO Y NATIVO ATM

Una vez vista la taxonomía de arquitecturas y protocolos ATM, queremos destacar que nuestra propuesta está pensada para soportar los estándares ATM, de forma que se cumple el soporte de las características nativas de esta tecnología. A lo largo de los siguientes capítulos iremos describiendo las diferentes partes de la arquitectura TAP, sin embargo deseamos adelantar en este apartado que hemos realizado su diseño para constituir una Virtual Private Network (VPN) como la mostrada en la *Figura 2.6*. Tal como podemos observar, nuestra pila de protocolos respeta el modelo nativo ATM y únicamente modificamos la capa de adaptación ATM (AAL), donde proponemos una ampliación de AAL-5 en los nodos emisor y receptor. En el caso de los nodos de conmutación de la propia red, únicamente deberán soportar el mecanismo de numeración de las PDU que permita las retransmisiones cuando aparecen las congestiones. La *Figura 2.6* presenta la retransmisión entre dos nodos activos de la arquitectura, pero queremos destacar que TAP no obliga a que la VPN constituida tenga que contener únicamente conmutadores activos que soporten el protocolo TAP, sino que la red puede estar formada por nodos activos y por otros que no tengan por qué soportar TAP. De este modo evitamos la dependencia de la propia arquitectura lo que permite el uso de todo tipo de conmutadores y no sólo nuestros conmutadores activos AcTMs (Active ATM switches).

Los nodos no activos de la VPN actúan como conmutadores normales y, en el caso de las retransmisiones, no realizan ninguna labor especial, salvo el reenvío de células RM en sentido contrario al flujo de datos como si de tráfico ABR se tratase. Esta funcionalidad es posible gracias al soporte de las características nativas del tráfico ATM en la arquitectura propuesta.

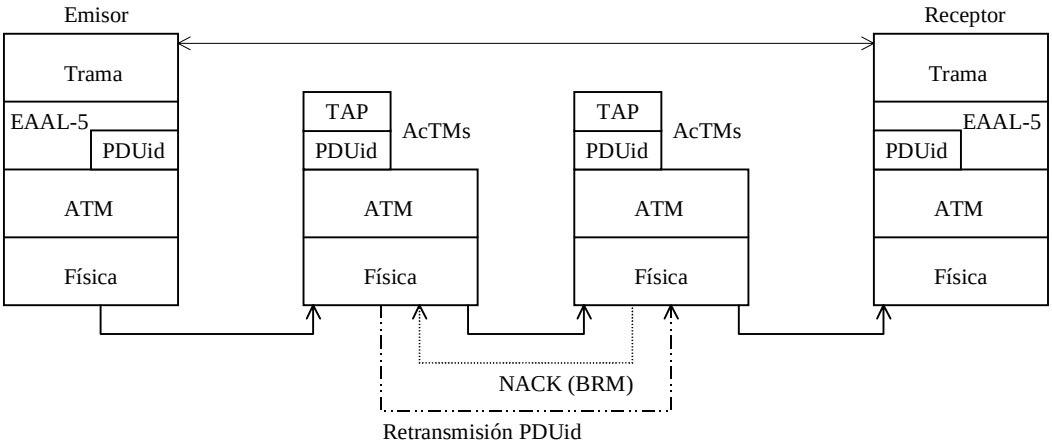


***Figura 2.6.*** *Red Privada Virtual y pilas de protocolos con TAP*

## 2.9. CONCLUSIONES

En este capítulo hemos descrito algunas de las arquitecturas y protocolos que nos han servido como referencia para el diseño de TAP. Los protocolos nativos pensados para soportar la tecnología ATM son uno de nuestros objetivos [71-73] principales, para que TAP pueda ser extendido a la red con la capacidad de coexistir con las infraestructuras actuales. Para que esto sea posible se han respetado las recomendaciones estándares lo que permite constituir VPN formadas por conmutadores que soportan el protocolo propuesto.

## REFERENCIAS

**[1]** ____ "Native ATM Service: Semantic *Description Version 1," ATM Forum Technical Committee*, ATM Forum Document af-saa-0048.000, (Feb. 1996).

**[2]** R. Ahuja, S. Keshav and H. Saran, "Design, Implementation, and Performance of a Native Mode ATM Transport Layer," *INFOCOM'96*, Vol. 1 pp. 206-214, (1996).

**[3]** T. Zahariadis, J. Sanchez-P, C. Georgopoulos, V. Nellas, T. Arvanitis, D. Economou, G. Stassinopoulos, "Native ATM Protocol Stack for Internet Applications in Residential Broadband Networks," *Multimedia Applications Services and Techniques ECMAST'98, Springer*, (May 1998).

**[4]** R. Venkateswaran, C.S. Raghavendra, X. Chen and V.P. Kumar, "A Scalable, Dynamic Multicast Routing Algorithm in ATM Networks," *IEEE Proceedings INFOCOM'99*, pp 1361-1365 (1.999).

**[5]** Steinmetz, R.,and Wolf, L.C.,"Quality of Service: Where are We?," *IWQOS'97*, pp.211-221, (1997).

**[6]** L. Zhang, S. Deering, D. Strin, S. Shenker, D. Zappela, "RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol," *IEEE Network*, pp. 8-18, (Sep. 1993).

**[7]** ____ "ATM User Network Interface Specification V3.0", *Prentice-Hall, Inc.*, pp. 189-193, (1993).

**[8]** F. Liaw, D. Perkins, "UNI Procedures and ATM Group Addresses," *ATM Forum Technical Committee, ATM Forum draft document #94-0685R1*, (Sept. 26, 1994).

**[9]** R. Bubenik, P. Flugstad, "Leaf Initiated Join Extensions," *ATM Forum draft document #94-0325R1*, (July 18, 1994).

**[10]** G. Armitage, "IP Multicast over UNI 3.0 based ATM Networks," *IETF IP over ATM Working Group Draft*, (Oct 3, 1994).

**[11]** G. Armitage, "Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks," *RFC 2022. Bellcore*, (Nov, 1996).

**[12]** G. Armitage, "IP Multicasting over ATM Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol 15, Nº 3*, pp. 445-457 (April, 1997).

**[13]** G. Armitage, "Multicast and Multiprotocol support for ATM based Internets," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, pp. 34-46 ().

**[14]** E. Gauthier, J. Le Boudec and P. Oechslin, "SMART: A many-to-many Multicast protocol for ATM," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. Nº 3* (April 1.997).

**[15]** E. Gauthier, J. Le Boudec and P. Oechslin, "Shared Access to Many-to Many ATM Connections," *IEEE Global*

*Telecommunications Conference, 1996. GLOBECOM'96. 'Communications: The Key to Global Prosperity'*. Volume 3, pp. 2123-2127, (1996).

**[16]** W. D. Zhong, K. Yukimatsu, "Design requeriments and architectures for multicast ATM switching," *IEICE Trans. Com., Vol E77-B*, pp. 1420-1428, (Nov. 1994).

**[17]** ____ "ITU Rec. I.150, B-ISDN ATM functional characteristics", *ITU-TS*, (1993).

**[18]** ____ "ATM user-network interface version 3.1 specification", *ATM Forum*, (1994).

**[19]** Rec. I.363.5, "Capa de adaptación del modo de transferencia asíncrono tipo 5," *UIT-T*, (08/1996).

**[20]** ____ "ITU Rec. I.371", *ITU-TS*, (Aug. 1996).

**[21]** S. Van Luinen, Z. Budrikis, and A. Cantoni, "The Controlled Cell Transfer Capability", *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, pp. 55-71, (1997).

**[22]** ____ "Traffic Management Specification Version 4.0," *ATM Forum Technical Committee, ATM Forum Document af-tm-0056.000*, (April 1996).

**[23]** M. de Prycker, "Asynchronous Transfer Mode. Solution for Broadband ISDN (3ª Ed.)," *Ed. Prentice Hall*,(1995)

**[24]** ____ "ATM Name System Specification", Version 1.0, *ATM Forum*, (Nov. 1996).

**[25]** D. Kandlur, D. Saha and W. Willebeck, "Protocol Architecture for multimedia Application over ATM Networks," *IEEE Journal Selected and Communications Vol. 14, Nº 7*, pp. 1.349-1.359, (Sep. 1996).

**[26]** R. Ahuja, S. Keshav and H. Saran, "Design, Implementation, and Performance Measurement of a Native-Mode ATM Transport Layer (Estended Version)," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol 4, Nº 4, (August 1996).

**[27]** R. Karabek, "A Native ATM Protocol Architecture Design and Performance Evaluation," *IEEE Proceedings 22nd Annual Conference on Local Computer Networks*, pp. 204-210, (1997).

**[28]** R. Karabek, M. Scholz, "A Transport Protocol for Native Mode ATM Networks Design and Implementation," *EEE GLOBECOM'96 Workshop:Transport Protocols for High Speed Broadband Networks*, London, (November 1996).

**[29]** R. Bagwell, J. McDearman and D. Marlow, "A Comparison of Native ATM-Multicast to IP-Multicast With Emphasis On Mapping Between the Two," *IEEE, Proceedings og the Twenty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory*, (1995).

**[30]** Saran, "The IDLInet Native Mode ATM Protocol Stack," *Indian Institute Technology, Delhi, http://cell-relay.indiana.edu/cell-relay/publications/software/IDLInet.*

**[31]** D. C. Feldmeier "A framework of architectural concepts for high-speed communications systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 11, Nº 4, (May 1993).

**[32]** T. Anker, D. Breitgand, D. Dolev, Z. Levy, "IMSS: IP Multicast Shortcut Service," *INFOCOM'98*, (1998).

**[33]** T. Anker, D. Breitgand, D. Dolev, Z. Levy, "Congress: CONnection-oriented Group-address RESolution Service," *Proceeding of SPIE'97* vol 3233 on Broadband Networking Technologies, Nov. (1997), *http://www.cs.huji.sc.il/transis/*

**[34]** *kStack http://comet.columbia.edu/software/kStack*

**[35]** T. La Porta and M. Schwartz, "Architectures, Features, and Implementation of High-Speed Transport Protocols," *IEEE Network Magazine*, pp. 14-22, (May. 1991).

**[36]** T. Matsuda, K. Matsuda, "A new protocol processing architecure for high-speed networks," *http://ipdps.eece.unm.edu/1998/* (1998).

**[37]** ____ "B-ISDN, ATM Adaptation Layer Service. Specific Connection Oriented Protocol (SSCOP) Q.2110," *ITU-T*, (10-Mar. 1994).

**[38]** J. Solé-Pareta, J. Vila-Sallent, "Network-based paralell computing over ATM using improved SSCOP protocol," *Computer Communications* 19 pp. 915-926, (1996).

**[39]** P. Goyal, Vin, H., Shen, C., Shenoy, P., "A reliable, Adaptive Network Protocol for Video Transport", *INFOCOM'96*, Vol 3, pp. 1080-1090, (1996).

**[40]** K. Obraczka, "Multicast Transport Protocols: A survey and Taxonomy," *IEEE Comm. Magazine*, (1998).

**[41]** P. E. Boyer and D.P. Tranchier, "A reservation principle with applications to the ATM traffic control," *Computer Networks ISDN Systems*, vol. 24, (1992).

**[42]** S. Manthorpe, Jean-Yves Le Boudec, "A comparison of ABR and UBR to support TCP traffic," *Technical report Laboratoire de Réseaux de Communication, EPFL http://lrcwww.epfl.ch/*, (1997).

**[43]** Woo-Seop Rhee, Yoon-Young An, Hwa-Suk Kim, Hong-Shik, "Interoperability Mechanism of ABR/ABT Capability in ATM Public Networks," *IEEE ICC'97 Montreal, Towards the Knowledge Millenium. 1997 IEEE International Conference on Communications* Volume 3 pp. 745-749, (1997).

**[44]** You-Ze Cho, Myeong-Yong Lee, "An Efficient Multicast Algorithm for ABR Service in ATM Networks," *IEEE ATM Workshop 1997. Proceedings pp. 351-360*, (1997).

**[45]** Kerry W. Fendick, "Evolution of Controls for the Available Bit Rate Service," *IEEE Communications Magazine*, pp. 35-39, (Nov. 1996).

**[46]** S. Fahmy, R. Jain, R. Goyal, B. Vandalore and S. Kalyanaraman, "Feedback Consolidation Algorithms for ABR Point-to-Multipoint Connections in ATM Networks," *INFOCOM'98. Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings IEEE Volume 3 pp.* 1004-1013, (1998).

**[47]** Lotfi Benmohamed, Y. T. Wang, "A Control-Theoretic ABR Explicit Rate Algorithm for ATM Switches with Per-VC Queueing," *INFOCOM'98, Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings IEEE Vol. 1*, pp. 183-191, (1998).

**[48]** Sharat Prasad, Kamran Kiasaleh and Poras Balsara, "LAPLUS: An Efficient, Effective and Stable Switch Algorithm for Flow Control of the Available Bit Rate ATM Service," *INFOCOM'98. Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings IEEE Vol. 1* pp. 174-182, (1998).

**[49]** Eitan Altman, Tamer Basar and R. Srikant, "Robust Rate Control for ABR Sources," *IEEE Proceedings INFOCOM'98*, pp. 166-175, (1998).

**[50]** Matthias Grossglauser and K.K. Ramakrishnan, "SEAM: Scalable and Efficient ATM Multicast," *IEEE Proceedings INFOCOM'97*, pp. 867-875, (1.997).

**[51]** M. Nguyen, and M. Schwartz, "MCMP: A Transport/session level Distributed Protocol for Desktop Conference Setup," *IEEE Journal Selected and comunications, Vol. 14 Nº 7*, pp. 1404-1421, (Sept. 1996)

**[52]** Paul Patrick White, "ATM Switching and IP Routing Integration: The Next Stage in Internet Evolution," *IEEE Communications Magazine*, April 1.998, pp. 79-83 (1.998).

**[53**] Xipeng Xiao, Lionel M. Ni and Vibhavasu Vuppala, "A comprehensive comparison of IP Switching and Tag Switching," *IEEE Proceedings ICPADS'97*, pp. 669-675 (1.997).

**[54]** Peter Newman, Greg Minshall and Thomas L. Lyon, "IP Switching-ATM Under IP," *IEEE/ACM Transactions on networking, Vol. 6 Nº 2*, April 1.998 pp. 117-129 (1.998).

**[55]** Maurizio Casoni and Jonathan S. Turner, "On the Performance of Early Packet Discard," *IEEE Journal On Selected Areas in Communications, Vol. 15, Nº 5*, June 1.997, pp. 892-902, (1.997).

**[56]** Kangsik Cheon and Shivendra S. Panwar, "Early Selective Packet Discard for Alternating Resource Access of TCP over ATM-UBR," *IEEE Proceedings LCN'97*, 1.997, pp. 306-316, (1.997).

**[57]** Omar Elloumi and Hossam Afifi, " RED Algorithm in ATM Networks," *IEEE Proc. ATM workshop*, pp. 312-319, (1.997).

**[58]** Almesberger, J. Le Boudec and Ph. Oechslin, "Arequipa: TCP/IP over ATM with QoS for impatient," *http://lrcwww.epfl.ch/WebOverATM/about_woa/arequipa.html*

**[59]** D. Tennenhouse et al., "A Survey of Active Network Research," *IEEE Communications Magazine*, (1997).

**[60]** U. Legedza, D. Wetherall and J. Guttag, "Improving the performance of Distributed Applications Using Active Networks," *INFOCOM'98*, pp. 590-599, (1998).

**[61]** D. Tennenhouse, D. Wetherall, "Towards an active network architecture," *Multimedia Computing and Networking 96*, San Jose, CA, (Jan 1996).

**[62]** Li-wei H. Lehman, Stephen J. Garland and David L. Tennenhouse, "Active Reliable Multicast," *INFOCOM'98 pp. 581-589*, (1.998).

**[63]** Rosen Sharma, S. Keshav, Michael Wu and Linda Wu, "Environments for Active Networks," *IEEE Proceedings INFOCOM'99*, pp. 77-84, (1.999).

**[64]** David J. Wetherall, John V. Guttag and David L. Tennenhouse, "ANTS: A Toolkit for Building and Dynamically Deploying Network Protocols," *IEEE Proceedings OPENARCH'98*, pp. 117-129, (1.998).

**[65]** David C. Feldmeier, Anthony J. McAuley. Jonathan M. Smith, Deborah S. Bakin, William S. Marcus and Thomas M. Releigh, "Protocol Boosters," *IEEE JSAC* Vol. 16, Nº 3, pp. 437-443, (April 1.998).

**[66]** R. Kishimoto, "Agent communication system for multimedia communication services," *INFOCOM'96. Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Networking the Next Generation., Proceedings IEEE Vol. 1*, pp. 10-17, (1996).

**[67]** David A. Halls and Sean G. Rooney, "Controlling the Tempest: Adaptive Management in Advanced ATM Control Architecture," *IEEE JSAC* Vol. 16, Nº 3, pp. 414-423, (April 1.998).

**[68]** P1520 - Proposed IEEE Standard for Application Programming Interfaces for Networks, *http://www.iss.nus.sg/IEEEPIN/*

**[69]** A. Viswanathan, "Evolution of Multiprotocol Label Switching," *IEEE Communications Magazine*, pp. 165-173, (1998).

**[70]** Josep Mangues-Bafalluy and Jordi Domingo-Pascual, "Multicast Forwarding over ATM: Native approaches," *IEEE Communication Surveys & Tutorials http://www.comsoc.org/pubs/surveys/*, Third quarter 2000 (2000).

**[71]** José Luis González-Sánchez y Jordi Domingo-Pascual, “Revisión y clasificación de protocolos para redes ATM”, *Jornadas Técnicas de RedIRIS’98*, (1998).

**[72]** José Luis González-Sánchez and Jordi Domingo-Pascual, “Protocols for ATM Networks: Survey, Classification and New Trends” *TR UPC-DAC-1999-65. http://www..ac.upc.es/recerca/reports/INDEX1999DAC.html* (1.999).

**[73]** José Luis González-Sánchez and Jordi Domingo-Pascual, “Protocols for ATM Networks: Survey, classification and new trends,” *IX Jornadas TELECOM I+D’99*, (1999).