

GMPLS, protocolo evolutivo de MPLS, soporta no sólo dispositivos que conmutan paquetes sino también los que conmutan en el dominio del tiempo, la longitud de onda o el espacio. La introducción de este protocolo en las redes ópticas e IP producirá, de este modo, una integración total en el plano de control de estas redes, posibilitando una rápida y sencilla provisión de servicios a un coste muy bajo.



## Integración de redes ópticas e IP mediante GMPLS

**E**l espectacular crecimiento de la demanda de ancho de banda por los nuevos servicios de telecomunicaciones ha generado un interés masivo por las redes ópticas durante los últimos años. La infraestructura de estas redes está constituida por tres tecnologías de transporte: la red óptica síncrona o SONET, la jerarquía digital síncrona o SDH y la multiplexación por división en longitud de onda o DWDM.

La tecnología más extendida actualmente es SONET/SDH. Su base funcional es la multiplexación por división en el tiempo o TDM y

utiliza la fibra óptica como mero sistema de transmisión, realizando las funciones de amplificación, encaminamiento, extracción e inserción de señales, etc., en el dominio eléctrico, a diferencia de DWDM, que a medida que se desarrolle realizará todas estas funciones en el dominio óptico. Por ello, una vez que madure la tecnología DWDM, hará innecesario el uso de SONET/SDH, pues será capaz de ofrecer la misma funcionalidad con otros muchos beneficios como, por ejemplo, su transparencia respecto a las señales que transporta, el enor-

me ancho de banda que ofrece y las mayores distancias que soporta sin necesidad de regenerar la señal al dominio eléctrico.

La principal razón del crecimiento de las necesidades de ancho de banda ha sido el exponencial aumento del número de usuarios y el incremento del número de aplicaciones de Internet. En nuestros días, el tráfico de datos supera al tradicional tráfico de voz, lo que ha suscitado un interés sin precedentes en IP, que además ha sido ampliado para soportar todo tipo de servicios. De este modo, es entendible que la convergencia de la capa IP y la capa óptica, inicialmente diseñada para el transporte de servicios telefónicos de conmutación de circuitos, sea el eje central de la siguiente fase de expansión de Internet.

Existen actualmente varios mecanismos en estudio para transportar el tráfico de datos IP directamente sobre DWDM con el fin de reducir la sobrecarga que suponen las capas de adaptación intermedias, conformadas generalmente por ATM y SONET/SDH. No obstante, puesto que no es posible la sustitución de toda la infraestructura implantada en un corto espacio de tiempo, es más importante conseguir antes un mecanismo para integrar el control de todas las capas de esta arquitectura de red heterogénea, proporcionando, de este modo, una administración de la red más sencilla y una provisión más rápida y flexible del ancho de banda para el tráfico IP. Los desarrollos en curso de diferentes cuerpos de estandarización giran en torno a esta idea, siendo GMPLS el que más fuerza está adquiriendo.

### Conceptos básicos

GMPLS es una extensión natural del protocolo MPLS (Multiprotocol Label Switching), estandarizado en 1998 por el IETF en la RFC 3031. Su objetivo inicial era proporcionar algunas de las características de las redes orientadas a conexión a las redes no orientadas a conexión, permitiendo así sobre una misma red IP ofrecer todo tipo de servicios.

En el encaminamiento IP sin conexión tradicional, la dirección de destino, junto a otros parámetros de la cabecera, es examinada cada vez que el paquete atraviesa un router, lo que supone que cada router pierda cierto tiempo (variable según el tamaño de su tabla de encaminamiento); además, como la ruta no puede predecirse, es difícil reservar recursos que garanticen la calidad de servicio. Básicamente, MPLS combina las ventajas del encaminamiento inteligente de Nivel 3 con la rápida conmutación de Nivel 2, utilizando para ello la conmutación de paquetes por una pequeña etiqueta de longitud fija, consiguiendo de este modo un mayor rendimiento en el transporte

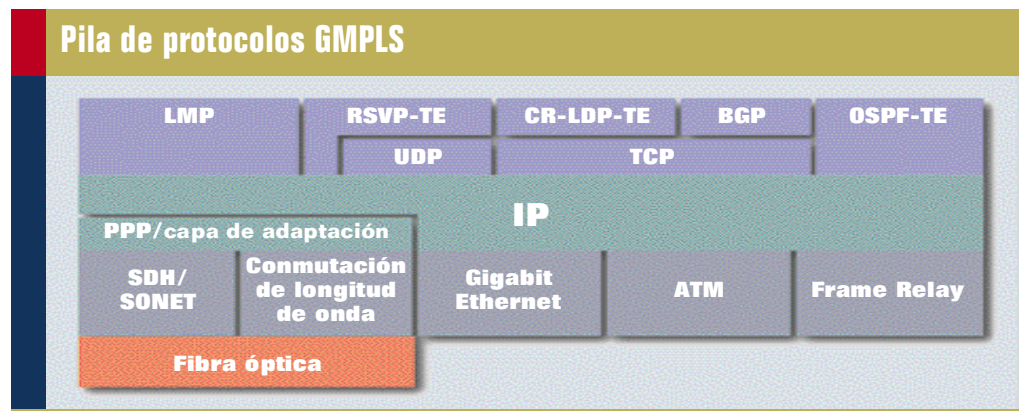
de paquetes IP. Dicha etiqueta es asignada al paquete basándose en su dirección de destino, los parámetros de tipo de servicio, la pertenencia a una red privada virtual o siguiendo otro criterio.

El estándar MPLS abarca la utilización de IPv4 e IPv6 sobre las principales tecnologías de Nivel 2 orientadas a la conmutación de paquetes, como Gigabit Ethernet, ATM y Frame Relay. Por ello, mediante MPLS se consigue también una mayor integración y una menor complejidad en la parte de control de los distintos dispositivos de la red IP, pues los caminos de tráfico o LSP (Label Switch Path), son creados utilizando los mismos protocolos de señalización y de distribución de etiquetas o LDP (Label Distribution Protocol).

Los dispositivos que incorporan el software de control MPLS, ya sean routers o switches de la red troncal IP, se denominan LSR (Label Switching Routers). Los LSR, al igual que los routers convencionales, intercambian información sobre la topología de la red mediante los protocolos de encaminamiento estándar; a partir de ellos construyen tablas de encaminamiento basándose principalmente en la "alcanzabilidad" de las redes IP destinatarias. Mediante estas tablas se establecerán los LSP que seguirán los paquetes, aunque también se pueden establecer LSP que no se correspondan con el camino óptimo calculado por dichos protocolos de encaminamiento. De esta forma, MPLS permite también a las operadoras poder realizar ingeniería de tráfico o TE (Traffic Engineering), cursar tráfico con diferentes calidades de servicio o QoS, y crear redes privadas virtuales o VPN.

### Conmutación generalizada

GMPLS (Generalized MultiProtocol Label Switching), en proceso de estandarización por el IETF, es una evolución de MPLS (MultiProtocol Lambda Switching), también del IETF, y de OUNI (Optical User-Network Interface) del OIF. Se trata asimismo de un avance evolutivo lógico de MPLS que soporta no sólo la conmutación de paquetes, sino también la conmutación en el tiempo, en longitud de onda y de fibras ópticas. Es decir, GMPLS abarca, además de los routers IP y los switches ATM, dispositivos de conmutación tales como conmutadores digitales de señales multiplexadas en el tiempo o DXC, conmutadores de longitudes de onda con conversión electro óptica o OXC y conmutadores de longitudes de onda totalmente ópticos o PXC. Para ello, GMPLS extiende ciertas funciones base del tradicional MPLS y, en algunos casos, añade nueva funcionalidad. Estas adaptaciones han supuesto la extensión de los mecanismos de etiqueta y de LSP para



crear etiquetas generalizadas y G-LSP (Generalized LSP); afectan también a los protocolos de encaminamiento y señalización para actividades tales como la distribución de etiquetas, la ingeniería del tráfico y la protección y restauración de enlaces.

Las etiquetas generalizadas extienden la representación de la etiqueta tradicional de un número de 4 bytes a un grupo de bytes de longitud variable, que informan de un número de time-slot, un valor de longitud de onda o un número de fibra dentro del conjunto de fibras del cable. También puede tratarse de la etiqueta MPLS genérica, de la etiqueta de ATM o VPI/VCI (Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier), o de la etiqueta de Frame Relay o DLCI (Data Link Control Identifier).

El flujo de datos a través de una fibra óptica puede ser dividido en distintas longitudes de onda, cada una de las cuales puede transportar señales previamente multiplexadas en el tiempo y con un ancho de banda distinto. Por otro lado, dentro de la red óptica puede haber conmutadores capaces de soportar más de un tipo de multiplexación. Por ello, es necesario que el LSR del que parte el flujo especifique el tipo de codificación del LSP que desea para el flujo de datos que está siendo establecido, el tipo de conmutación a aplicar a ese LSP, y el ancho de banda total requerido para dicho LSP.

### Recursos Web

- ▶ Recomendaciones y estándares del IETF  
<http://www.ietf.org>
- ▶ Recomendaciones y estándares del OIF  
<http://www.oiforum.com>
- ▶ Foro MPLS  
<http://www.mplsforum.org>
- ▶ Centro de Recursos de MPLS  
<http://www.mplssrc.com>
- ▶ Centro de Recursos de GMPLS  
<http://www.gmpls.org>
- ▶ Noticias mundiales sobre MPLS  
<http://www.mplsworld.com>

### Conjunto de etiquetas

Puesto que en GMPLS, a diferencia de MPLS, las etiquetas están directamente relacionadas con los elementos y recursos físicos de la red, puede haber conflictos durante el establecimiento del LSP. Por ejemplo, un conmutador óptico puede ser capaz de conmutar la longitud de onda de un puerto de entrada a un puerto de salida, pero puede no ser capaz de modificar dicha longitud de onda, dando lugar a una situación de bloqueo. Por esta razón, GMPLS introduce el concepto de conjunto de etiquetas. El LSR del que parte el flujo de datos incluye un conjunto de etiquetas en su solicitud de establecimiento del LSP para restringir a los LSR a los que llega el flujo la selección de la etiqueta para el enlace entre ellos. El LSR al que llega el flujo, debe seleccionar una etiqueta dentro de ese conjunto o, en otro caso, denegar el establecimiento del LSP. El conjunto de etiquetas es construido incluyendo o excluyendo un número arbitrario de listas de etiquetas o rangos.

Cada LSR puede generar un nuevo conjunto de etiquetas, basándose en su equipamiento y en su posibilidad de cumplir con las especificaciones indicadas en el conjunto de etiquetas. GMPLS introduce también la posibilidad de controlar la etiqueta de forma explícita; es decir, el LSR entrante o el administrador de la red es capaz de especificar las etiquetas a utilizar en todo el trayecto óptico, en una o en las dos direcciones del flujo. Esto es útil, por ejemplo, cuando el LSR entrante trata de que se utilice la misma longitud de onda a lo largo de todo el LSP, con el fin de minimizar la distorsión de la señal óptica. Esto posibilita también el establecimiento de LSP bidireccionales simétricos utilizando el mismo intercambio de mensajes que requiere el establecimiento de LSP unidireccionales, reduciendo así el tiempo de establecimiento y la sobrecarga de señalización de este tipo de circuitos esenciales en las redes ópticas.

### Agregación de enlaces

El uso de tecnologías como DWDM implica que ahora se puede tener un número muy grande de enlaces paralelos entre dos nodos adyacen-

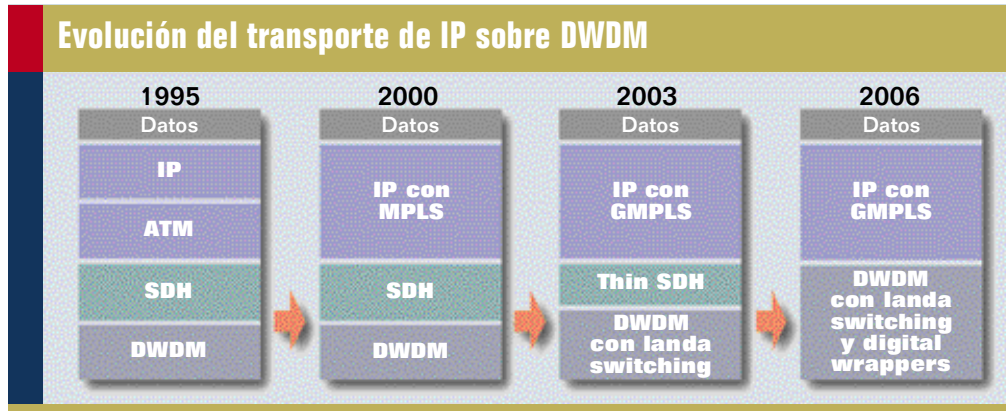
tes directamente; por ejemplo, cientos de longitudes de onda o miles en el caso de que existan varias fibras. Esto requiere ciertas adaptaciones al plano de control MPLS para que pueda ser utilizado en GMPLS, pues por ejemplo, el modelo tradicional de encaminamiento IP consideraría cada enlace entre dos nodos adyacentes como un camino distinto. Por otro lado, los datos que viajan a través de DWDM son totalmente transparentes y por el mismo enlace viajan múltiples paquetes de datos, por lo que no es conveniente realizar una señalización dentro de banda, mientras que la señalización en conmutación de paquetes es siempre dentro de banda. Para solventar estos problemas se ha introducido la posibilidad de que múltiples enlaces puedan ser combinados en un único enlace agrupado y de establecer enlaces no numerados, y se ha definido nuevo protocolo de señalización denominado LMP (Link Management Protocol).

La posibilidad de agregar enlaces permite establecer una jerarquía de LSP, la cual hace referencia a la posibilidad de anidar LSP dentro de otros LSP. Esto es factible porque un LSP es un enlace específico dentro de la base de datos de enlaces utilizado por OSPF. Esta jerarquía es necesaria porque en esta red tan heterogénea existen dispositivos que pueden conmutar según diferentes parámetros, teniendo siempre presente que un LSP comienza y termina en un equipo similar. Es decir, la jerarquía se basa en la capacidad de multiplexación de los distintos tipos de LSP.

El nuevo protocolo de señalización LMP es ejecutado entre nodos adyacentes para mantener la conectividad del canal de control, verificar la conectividad física del enlace de datos, correlacionar adecuadamente la información del enlace, localizar y notificar fallos, y autenticar los mensajes recibidos. Dadas las altas capacidades que soportan las redes ópticas, disponer de mecanismos de protección del tráfico rápidos y fiables es una característica totalmente indispensable para el plano de control de estas redes.

**Gestión de fallos**

Los pasos fundamentales para la gestión de fallos en una conexión son la detección, la localización, la notificación y la mitigación. LMP permite la localización, notificación y mitigación de dichos fallos, ya que típicamente la detección es gestionada por el nivel fisi-



co mediante la ausencia de señal óptica o LOL (Loss Of Light) en DWDM. La localización requiere de comunicación entre nodos para determinar dónde ha ocurrido el fallo, ya que la ausencia de señal óptica se propagará a lo largo de todos los nodos que conforman ese LSP. LMP puede separar los canales de datos y de control permitiendo que cada uno de ellos pueda ser protegido y contabilizado de forma independiente. De este modo, LMP ayuda a la localización de enlaces con fallos y a la verificación de la conectividad física entre dos nodos vecinos, lo cual reduce la probabilidad de error en la provisión de servicios. Una vez localizado el fallo, el LMP activará los mecanismos de protección y restauración, activando otros LSP alternativos con el fin de solventar el problema.

GMPLS requiere también de modificaciones en los actuales protocolos de señalización y encaminamiento para adaptarlos a las peculiaridades de los sistemas ópticos. De esta forma, GMPLS añade información adicional a los protocolos IGP, tales como OSPF, para que sean capaces de proporcionar información acerca de la topología y disponibilidad de recursos ópticos de la red. Para ello, GMPLS contempla algoritmos de encaminamiento basados en restricciones que utilizan la información topológica y de recursos disponibles para calcular caminos a través de la red y realizar las conexiones ópticas. Una vez que es seleccionado un camino, GMPLS extiende los protocolos para la señalización e ingeniería del tráfico, tales como RSVP o CR-LDP, para la creación de los LSP a lo largo de la red óptica. Estos protocolos son utilizados para establecer, modificar, eliminar o recuperar la información de los LSP.

**Glosario**

- ▶ **CR-LDP** (Constraint-based Routing – Label Distribution Protocol).
- ▶ **DLCI** (Data Link Control Identifier).
- ▶ **DWDM** (Dense Wavelength Division Multiplexing).
- ▶ **DXC** (Digital Cross Connect).
- ▶ **G-LSP** (Generalized LSP).
- ▶ **GMPLS** (Generalized MultiProtocol Label Switching).
- ▶ **IETF** (Internet Engineering Task Force).
- ▶ **IGP** (Internal Gateway Protocol).
- ▶ **LDP** (Label Distribution Protocol).
- ▶ **LMP** (Link Management Protocol).
- ▶ **LOL** (Loss Of Light).
- ▶ **LSP** (Label Switch Path).
- ▶ **LSR** (Label Switching Routers).
- ▶ **MPLS** (Multiprotocol Label Switching).
- ▶ **MPIS** (MultiProtocol Lambda Switching).
- ▶ **OIF** (Optical Interface Forum).
- ▶ **OSPF** (Open Shortest Path First).
- ▶ **O-UNI** (Optical User-Network Interface).
- ▶ **OXC** (Optical Cross Connect).
- ▶ **PXC** (Photonic Cross Connect).
- ▶ **QoS** (Quality of Service).
- ▶ **RSVP** (ReSerVation Protocol).
- ▶ **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy).
- ▶ **SONET** (Synchronous Optical Network).
- ▶ **TDM** (Time Division Multiplexing).
- ▶ **TE** (Traffic Engineering).
- ▶ **VPI/VCI** (Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier).
- ▶ **VPN** (Virtual Private Network).

**Ventajas y beneficios**

Como hemos visto, GMPLS ofrece un panel de control único e integrado y extiende la disponibilidad de recursos y gestión del ancho de banda a lo largo de todas las capas de la red; es decir, los equipos de las redes dejan de estar separados en diferentes capas, todos los elementos pueden tener información sobre el resto. Es más, puesto que está diseñado para soportar diferentes tipos de tráfico, las redes podrían ser escaladas y simplificadas mediante el desarrollo de una nueva clase de elemento diseñado para manejar diferentes tipos de tráfico simultáneamente.

Según esto, el principal beneficio que GMPLS ofrece actualmente a los operadores de red es una rápida provisión de servicios de cualquier tipo, en cualquier momento, con cualquier calidad de servicio, con cualquier grado de disponibilidad, y con cualquier destino. Esta provisión tiene además un coste operativo muy bajo, por utilizar las ampliamente disponibles herramientas de gestión IP y utilizar un plano de control idéntico para gestionar la red óptica.

**RAMÓN JESÚS MILLÁN TEJEDOR**

Ingeniero Superior de Telecomunicaciones y Especialista Universitario en Gestión de Sistemas de Información