

# La convergencia de niveles IP, un camino determinante para el desarrollo de Internet

**Por Ing. Jorge Castro Martínez**

Gerencia Territorial de Sancti Spíritus, ETECSA  
[jcastro@ssp.tel.etecsa.cu](mailto:jcastro@ssp.tel.etecsa.cu)

Entre los factores para el éxito de Internet uno de los más importantes es la utilización del protocolo TCP/IP como estándar para todo tipo de servicios y aplicaciones. Internet ha desplazado a las tradicionales redes de datos y ha llegado a ser el modelo de una red pública. Si bien es cierto que llegó a consolidarse como el modelo mundial de red pública de datos, también lo es que hoy no llega a satisfacer los requerimientos de los usuarios, principalmente los de aquellos de entornos corporativos, que necesitan la red para el soporte de aplicaciones críticas.

La desventaja fundamental que tiene Internet es la imposibilidad de seleccionar diferentes niveles de servicios para los distintos tipos de aplicaciones de usuario. Es más valorada por el servicio de acceso y distribución de informaciones que por el servicio de transporte de datos —conocido como *best-effort*—. Si se pretendiera consolidar Internet como una red de datos mundial, entonces serían necesarios los cambios tecnológicos que permitan una respuesta más determinante y menos aleatoria, es decir, satisfacer

los altos requerimientos de los usuarios de hoy.

En la década de los 90, IP fue imponiéndose como protocolo de red sobre otras arquitecturas en uso. Los *backbone* IP, que los proveedores de servicios habían empezado a desplegar en esos años, estaban contruidos por *routers* conectados por líneas dedicadas, pero el crecimiento explosivo de Internet había generado un déficit de ancho de banda en aquel esquema de enlaces individuales. La reacción de los proveedores de servicios fue aumentar el número de enlaces y su capacidad. De igual modo, los proveedores plantearon la necesidad de aprovechar mejor los recursos de red existentes, sobre todo, la utilización eficaz del ancho de banda de los enlaces, pero con los protocolos habituales de encaminamiento —basados en métricas del menor número de saltos—. Ese aprovechamiento del ancho de banda no resultaba efectivo, por lo tanto, hubo que idear otras alternativas.

Como consecuencia, los esfuerzos se centraron en aumentar el rendimiento de los *routers* tradicionales. Los pasos trataban de

combinar la eficacia y la rentabilidad de los conmutadores ATM con las capacidades de control de los *routers* IP. Como apoyo a la integración de los niveles 2 y 3, los operadores de telecomunicaciones desplegaban infraestructuras de redes ATM que ofrecían buena solución a los problemas de crecimiento de los proveedores. El modelo de red IP sobre ATM (IP/ATM) rápidamente ocupó el mercado entre los proveedores de servicios IP, además, facilitó la decisión de operadores telefónicos en la provisión de estos servicios y de la conexión a Internet en un mayor por ciento que lo acostumbrado.

El modelo IP/ATM supone la superposición de una topología virtual de *routers* IP sobre una topología real de conmutadores ATM. El *backbone* ATM es presentado como una nube central —núcleo— rodeada por los *routers* de la periferia. Cada *router* comunica con el resto a través de los circuitos virtuales permanentes (PVCs) que se establecen sobre la topología física de la red ATM. Los PVCs actúan como circuitos lógicos y proporcionan la conectividad necesaria entre los *routers*

de la periferia. Estos, sin embargo, desconocen la topología real de la infraestructura ATM que sustenta los PVCs. Los routers ven los PVCs como enlaces punto a punto. La figura 1 representa un ejemplo en el que pueden compararse las diferencias existentes entre la topología física de una red ATM y la topología lógica IP, superpuesta sobre la anterior.

La base del modelo IP/ATM está en la funcionalidad proporcionada por el nivel ATM, es decir, los controles de software —señalización y *routing*— y el envío de las celdas por hardware —conmutación—. Los PVCs se establecen sobre la base de intercambiar etiquetas en cada conmutador de la red, de modo que la asociación de etiquetas, entre los elementos ATM, determine los correspondientes PVCs. Las etiquetas tienen solamente significado local en los conmutadores y son la base de la rapidez en la conmutación de celdas. La potencia de esta solución de topologías superpuestas está en la infraestructura ATM del *backbone*; el papel de los *routers* IP queda relegado a la periferia, que, a mediados de los años 90, tenían una calidad cuestionable basados en el funcionamiento por software.

La solución de superponer IP sobre ATM ofrece ventajas inmediatas como el ancho de banda disponible a precios competitivos y la rapidez de transporte de datos que proporcionan los conmutadores. La ingeniería de tráfico se aplica para proporcionar a los *routers* los PVCs necesarios, con una topología lógica totalmente mallada entre *routers*. El “punto de encuentro” de las redes IP y

ATM está en el acoplamiento de las subinterfaces en los *routers* con los PVCs, a través de los cuales se intercambian los *routers*, la información de encaminamiento correspondiente al protocolo interno IGP. Lo habitual es que, entre cada par de *routers*, exista un PVC principal y otro de respaldo que entra automáticamente en funcionamiento cuando falla el principal.

El modelo IP/ATM tiene sus inconvenientes: hay que gestionar dos redes diferentes, una infraestructura ATM y una red lógica IP superpuesta, lo que supone a los proveedores de servicios mayores costos de gestión de sus redes. Existe, además, la llamada “tasa impuesta por la celda”, un *overhead* aproximado del 20 % que ocasiona el transporte de datagramas IP sobre las celdas ATM y reduce, en igual porcentaje, el ancho de banda disponible. Por otro lado, la solución IP/ATM presenta los típicos problemas de crecimiento exponencial  $n \times (n-1)$  al aumentar el número de nodos IP sobre una topología completamente mallada.

Por lo tanto, puede afirmarse que el modelo IP/ATM presenta ventajas evidentes en la integra-

ción de los niveles 2 y 3, pero de un modo discontinuo y sobre la base de mantener dos redes separadas.

Como consecuencia, los problemas de rendimiento derivados de la solución IP/ATM y la convergencia continua hacia IP de las aplicaciones existentes, contribuyeron posteriormente al desarrollo de técnicas para lograr la integración de niveles de una forma eficaz, y fueron conocidas como conmutación IP —IP *switching*— o conmutación multinivel —*multi-layer switching*—. Las soluciones de conmutación multinivel se basaban en dos componentes básicos: la separación entre las funciones de control y de envío, y el intercambio de etiquetas para el envío de datos.

La figura 2 muestra la separación funcional de esos dos componentes —una de control y la otra de envío—. El componente de control utiliza los protocolos estándares de encaminamiento —OSPF, IS-IS y BGP-4— para el intercambio de información con los otros *routers* para la construcción y el mantenimiento de las tablas de encaminamiento. Al llegar los paquetes, el componente de envío busca en la tabla de envío, que mantiene el

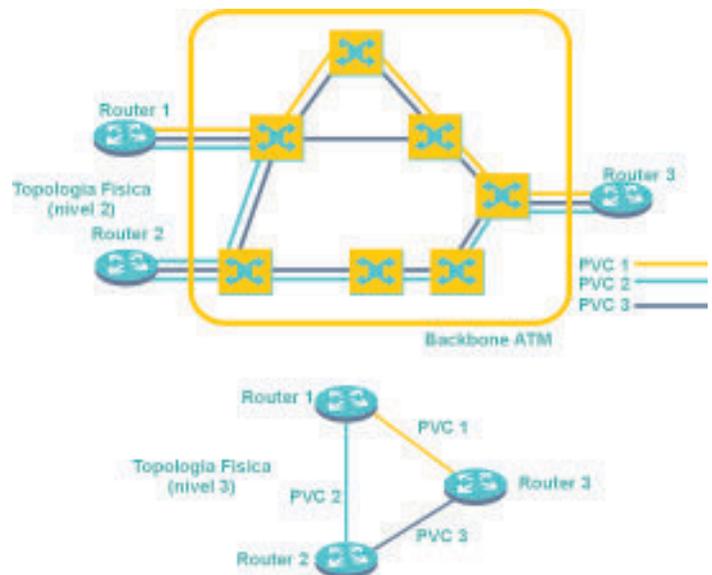


Figura 1 Modelo físico y lógico de una Red IP/ATM

componente de control, para tomar la decisión de encaminamiento para cada paquete. El componente de envío examina la información de la cabecera del paquete, busca en la tabla de envío la entrada correspondiente y dirige el paquete desde la interfaz de entrada a la de salida a través del correspondiente hardware de conmutación. Al separar el componente de control del componente de envío, cada uno puede implementarse y modificarse independientemente. El único requisito es que el componente de encaminamiento mantenga la comunicación con el de envío mediante la tabla de envío de paquetes y actualice la información. El mecanismo de envío se implementa a través del intercambio de etiquetas, similar a lo visto para ATM. La diferencia está en que ahora lo que se envía por la interfaz física de salida son paquetes “etiquetados”. De este modo, están integrándose en el mismo sistema las funciones de conmutación y encaminamiento.

La etiqueta que marca cada paquete es un campo de pocos bits, de longitud fija, que se añade a la cabecera del mismo y que identifica a una clase equivalente de envío —*Forwarding Equivalence Class* (FEC)—. Una FEC es un conjunto de paquetes que se envían sobre el mismo camino a través de una red, aun cuando sus destinos finales sean diferentes. Una etiqueta es similar a un

identificador de conexión —como el VPI/VCI de ATM o el DLCI de *Frame Relay*—, tiene significado local y no modifica la información de la cabecera de los paquetes; solamente los encapsula, y asigna el tráfico a los correspondientes FEC.

El algoritmo de intercambio de etiquetas permite así la creación de “caminos virtuales” conocidos como LSP —*Label-Switched Paths*—, que son funcionalmente equivalentes a los PVCs de ATM y *Frame Relay*; impone una conectividad entre extremos a una red no conectiva por naturaleza —como las redes IP—, pero sin perder la visibilidad del nivel de red —de aquí los nombres de conmutación IP o conmutación multinivel—. Esta es la diferencia básica con el modelo IP/ATM.

Fueron varias las tecnologías privadas que condujeron a la adopción de tales técnicas; sin embargo, las soluciones poseían la desventaja de la falta de interoperatividad, pues usaban diferentes tecnologías privadas para combinar la conmutación del nivel 2 con el encaminamiento IP —nivel 3—. Además, la mayoría de esas soluciones necesitaban ATM como transporte, porque no podían operar sobre infraestructuras de transmisión mixtas —*Frame Relay*, PPP, SONET/SDH y LANs—. Por lo tanto, se nece-

sitaba un estándar que funcionara sobre cualquier tecnología de transporte de datos en el nivel de enlace. Luego, el grupo de trabajo de MPLS, que se estableció en el IETF, se propuso como objetivo adoptar un estándar unificado e interoperativo, es decir, lograr la convergencia real MPLS —*Multi Protocol Label Switching*—.

Con el desarrollo del estándar se pretendía que MPLS funcionara sobre cualquier tecnología de transporte. Debía soportar el envío de paquetes tanto unicast como multicast, compatibilizar con el Modelo de Servicios Integrados del IETF —incluyendo el protocolo RSVP—, permitir el crecimiento constante de Internet y ser compatible con los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de las actuales redes IP.

Los proveedores de servicio deben gestionar redes más complejas y extensas, con mayor diversidad de servicios y mayor demanda de ancho de banda y calidad. En este entorno, la convergencia natural hacia redes IP y aplicaciones TCP/IP han impulsado el desarrollo de la arquitectura MPLS como la opción más prometedora. Es el último paso en la evolución de las tecnologías de conmutación multinivel.

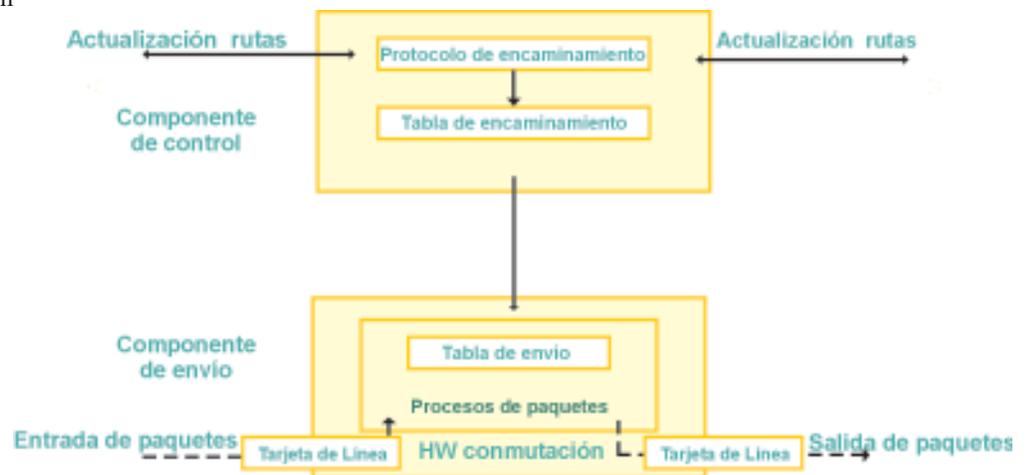


Figura 2 Representación de la separación entre las funciones de control y envío

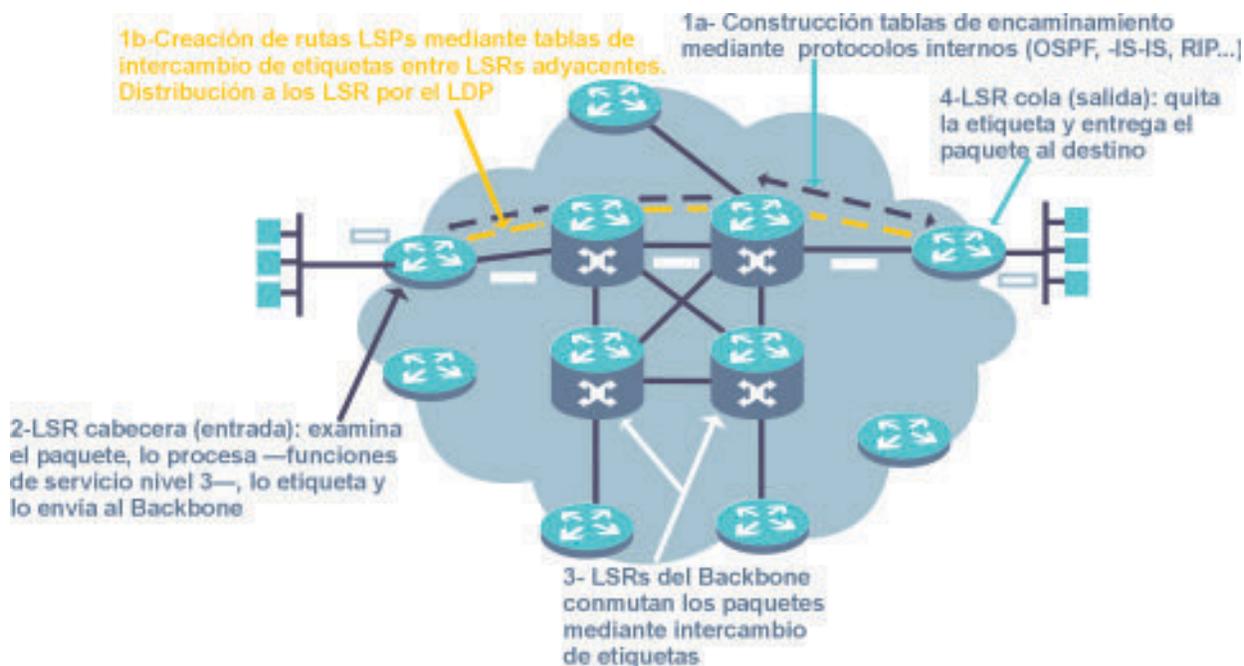


Figura 3 Esquema del funcionamiento global de una red MPLS

El principio de separar lo que es el envío de los datos, mediante el algoritmo de intercambio de etiquetas, de los procedimientos de encaminamiento estándar IP, ha llevado a un acercamiento de los niveles 3 y 2, y aporta beneficios en relación con el rendimiento y la flexibilidad de esta arquitectura.

En la figura 3 se evidencia el esquema global de funcionamiento, donde están reflejadas las diversas funciones de cada uno de los elementos que integran una red MPLS. Es importante destacar que en el borde de la nube MPLS hay una red convencional de routers IP. El núcleo MPLS proporciona una arquitectura de transporte que hace aparecer a cada par de routers a la distancia de un salto. Funcionalmente es como si estuvieran unidos todos en una topología mallada —directamente o por PVCs ATM—. Esa unión a un sólo salto se realiza por MPLS mediante los correspondientes LSPs —puede haber más de uno para cada par de routers—. La diferencia con

topologías conectivas reales es que en MPLS la construcción de caminos virtuales es más flexible y no se pierde la visibilidad sobre los paquetes IP, lo que posibilita mejorar el rendimiento de las redes y soportar nuevas aplicaciones de usuario.

Puede afirmarse que el surgimiento de la arquitectura MPLS abre a los proveedores de servicios IP la oportunidad de ofrecer nuevos servicios, imposibles de brindar con las técnicas actuales de encaminamiento IP. Además de posibilitar la ingeniería de tráfico IP, MPLS permite mantener clases de servicios y soporta, con eficacia, la creación de Redes Privadas Virtuales (VPNs), por lo que, MPLS aparece como la arquitectura que puede mantener el ritmo actual de crecimiento de Internet. ■

### Bibliografía

"ATM in the Next Generation Network". Alcatel Technical Paper. 2001. Disponible en: [http://www.alcatel.com/industry\\_analysts/secure/pdf/mpls\\_atm\\_a4.pdf](http://www.alcatel.com/industry_analysts/secure/pdf/mpls_atm_a4.pdf)

Balakrishnan, Ram; et al. "Plano de control sólido y fácil de escalar para redes de banda ancha". *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*, no. 3, (3er Trimestre de 2002), pp. 212-217.

Barberá, José. MPLS. "A Backbone Architecture for the Internet of the 21<sup>st</sup> Century. 2000". Disponible en: <http://www.rediris.es/rediris/boletin/53/enfoque1.html>

Belloni, Andres. "Gestión de Red de Datos IP/MPLS Alcatel 5620". *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*, no. 3 (3er Trimestre de 2002), pp. 183-188.

Brittain, Paul. "MPLS Virtual Private Network. Data Connection 2000". Disponible en: <http://www.dataconnection.com/>

Guichard, Jim; Pepelnja, Ivan. MPLS and VPN Architectures. Cisco Press, 2000.

Halabi, Sam; McPherson, Danny. *Internet Routing Architectures*. 2nd Edition. Cisco Press, 2000.

IETF. RFC 2764: IP based VPN. Disponible en: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2764.txt>

Jiménez Orozco, Leonardo. "MPLS: una nueva tecnología aplicada a Internet 2". Trabajo de Tesis, 2000.

Semeria, Chuck. *Migration Strategies for IP Service Growth: cell-switches MPLS or IP-router MPLS* [en línea]. Juniper Network, 2000. Disponible en: [http://www.juniper.net/solutions/literature/white\\_papers/200026.pdf](http://www.juniper.net/solutions/literature/white_papers/200026.pdf)