

# Diseño e Implementación Mediante el Simulador Dynamips de una Red MPLS para la Conexión WAN de una Empresa Mediana con sus Sucursales

Alex Vidal Ballesteros Gracia <sup>(1)</sup>, Andrés Alexander Chiriboga Jarrín <sup>(2)</sup>,

Luis Miguel Villegas Gavilanes <sup>(3)</sup>, Ing. Ivonne Martín Moreno <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup> Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, FIEC/ESPOL, 2007

<sup>(4)</sup> Ingeniero en Electrónica MAE, FIEC/ESPOL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

[vballest@espol.edu.ec](mailto:vballest@espol.edu.ec) <sup>(1)</sup>, [achiribo@espol.edu.ec](mailto:achiribo@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>

[lvillega@espol.edu.ec](mailto:lvillega@espol.edu.ec) <sup>(3)</sup>, [imartin@espol.edu.ec](mailto:imartin@espol.edu.ec) <sup>(4)</sup>

## Resumen

*El presente trabajo se lo ha desarrollado pensando en los servicios que las nuevas tecnologías ofrecerán y además pensando hacia donde las tecnologías actuales tienden a migrar, es por ello, que se tiene objetivos claves como dar a conocer los conceptos básicos de la tecnología MPLS, presentar soluciones de proveedores de servicio a empresas que deseen entablar redes de voz y datos con sus sucursales mediante el transporte confiable punto a punto utilizando etiquetamiento de paquetes, validar el desempeño de la tecnología MPLS mediante aplicaciones como: Redes Privadas Virtuales, Ingeniería de Tráfico y Calidad de Servicio. Al describir la funcionalidad de una red MPLS se indica las funcionalidades de los elementos participantes en un dominio, induciendo además una teoría introductoria a las diversas aplicaciones que se pueden ofrecer al tener a esta tecnología ya implementada en el Backbone de un proveedor de servicios de red. El diseño que puede ser ofrecido por un proveedor de servicios a una empresa que desee conectar sus sucursales por medio de tecnologías de transporte que le garanticen fiabilidad en el manejo y envío de su información debe ser el mas apropiado, dando a conocer la topología de red y las herramientas representativas para el diseño de la misma. La implementación del diseño de la topología de la red MPLS con el uso de herramientas muy poderosas tales como el simulador Dynamips debe presentar características que permitan tener un visión clara de lo que será una implementación con equipos reales.*

**Palabras Claves:** IP, MPLS, LSR, LER, FEC, LSP, Etiqueta, Redes Privadas Virtuales, Calidad de Servicio, Ingeniería de Tráfico, Emparejamiento.

## Abstract

*This paper has been developed thinking of the services that new technologies offer, and also thinking to where current technologies tend to migrate, and that is why, this work has key objectives as give to know the basic concepts of MPLS technology, present solutions from service providers to companies wishing to engage voice and data networking with its branches through reliable point-to-point transport using labelling packages, validate the performance of MPLS technology through applications such as Virtual Private Networks, Traffic Engineering and Quality of Service. To describe the functionality of an MPLS network is indicated functionality of the elements involved in a domain, inducing a theory introductory to the various applications that can be offered to have already implemented this technology in the Backbone of a network service provider. Design that can be offered by a service provider to a company that wants to connect its branches through transport technologies to ensure reliability in the management and delivery of information should be the most appropriate, showing the network topology and representative tools for the design of the same. Implementation of the design of network topology MPLS using very powerful tools such as the simulator Dynamips must provide features that enable to have a clear vision of what will be an implementation with real devices.*

**Key Words:** IP, MPLS, LSR, LER, FEC, LSP, Label, Virtual Private Networks, Quality of Service, Traffic Engineering, Matching.

## 1. Introducción

Durante los últimos años ha existido un enorme crecimiento en lo que corresponde al uso de las tecnologías de redes y transmisión de datos que están al alcance de los proveedores. En la actualidad ya es posible contar con un servicio rápido, estable, eficiente y multifuncional sobre el cual pueden verse ejecutadas diversidad de aplicaciones (voz, video, datos, etc.) a un precio al alcance de usuarios que se expanden con el pasar de los días. Uno de los propósitos que siempre se ha buscado es conseguir la mejora en la calidad de los servicios que un proveedor le puede brindar a las empresas por medio del uso de las redes de datos en el mundo. Hoy en día las tecnologías existentes como IP están diseñadas para que brinden seguridad y sean capaces de reestablecer la conectividad luego de que se presente alguna falla en algún elemento de red. Aunque la conectividad pueda reestablecerse, el tiempo que esto demande podría no estar en el límite para lo aceptable en lo que respecta a servicios de alta prioridad. Por esta razón se estudia las posibilidades para que un proveedor de servicios implemente en sus redes sistemas confiables que puedan brindar a los clientes la seguridad necesaria al momento de conectar sus redes, adaptando protocolos como IP y MPLS a tecnologías de WAN que hoy en día se pueden utilizar.

## 2. Objetivos de La tecnología MPLS

MPLS establece su objetivo principal en estandarizarse para servir de base entre la combinación de la conmutación de paquetes y el enrutamiento tradicional, para lo cual es necesario integrar la parte MPLS en el plano de control de la capa de red. Por ello se ha desarrollado MPLS con la finalidad de satisfacer requerimientos que faciliten su ejecución sobre cualquier tecnología en la capa de red; ser escalable para soportar el crecimiento de redes corporativas y la expansión de la Internet; ser compatible con los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de las actuales redes IP.

Para conformar la arquitectura de una red MPLS se deben vincular los elementos participantes y que además cumplen un papel fundamental en el funcionamiento de la red. Dichos elementos cumplen las funcionalidades de asignación y conmutación de etiquetas que se da en el envío MPLS.

## 3. Elementos Participantes de la Red MPLS

Para conformar la arquitectura de una red MPLS se deben vincular los elementos participantes y que además cumplen un papel fundamental en el funcionamiento de la red. Dichos elementos son detallados a continuación:

### 3.1. Label Switch Router (LSR) – (Router Conmutador de Etiquetas)

El LSR es un ruteador conmutador de etiquetas que basa su funcionamiento de envío en el chequeo de la etiqueta o pila de etiquetas que ha sido añadida a un paquete IP en la frontera de ingreso al dominio MPLS. No realiza funciones de chequeo de capa de red ya que para el envío basta con analizar la etiqueta contenida en el paquete IP etiquetado, la cual le indica su siguiente salto. El LSR remueve la etiqueta y asigna otra para indicar el siguiente salto dentro de la red MPLS.

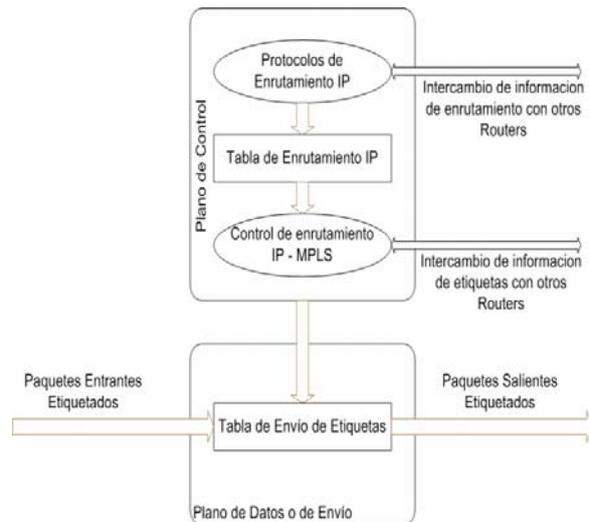


Figura 1.- Diagrama de Bloques del LSR

### 3.2. Label Edge Router (LER) o Edge – LSR - (Router de Frontera de Etiquetas)

El LER o Edge – LSR es un ruteador el cual se encuentra en la frontera de una red MPLS. Se encarga de realizar y brindar funcionalidades de aplicaciones del cliente cuando este está conectado a la red de un proveedor MPLS (fig. 2). Este elemento se encuentra presente tanto en el ingreso como en el egreso de la red, cumpliendo las funciones principales de la misma. Estos ruteadores cumplen funciones ya sea para un Dominio MPLS como para un Dominio no MPLS.

Cuando un paquete ingresa etiquetado a un LER de salida en la red MPLS, este dispositivo de red le realiza el chequeo correspondiente y al consultar con su tabla de etiquetas el LER de salida decide si el siguiente salto lo saca o no del dominio MPLS. Si el siguiente salto lo saca de la nube, el LER de salida removerá la etiqueta del paquete y lo enviara a su destino por enrutamiento convencional. Si el siguiente salto es una nube MPLS (puede ser él mismo LER, u otro dominio MPLS) el LER de salida mediante su tabla de etiquetas tomará la decisión correspondiente.

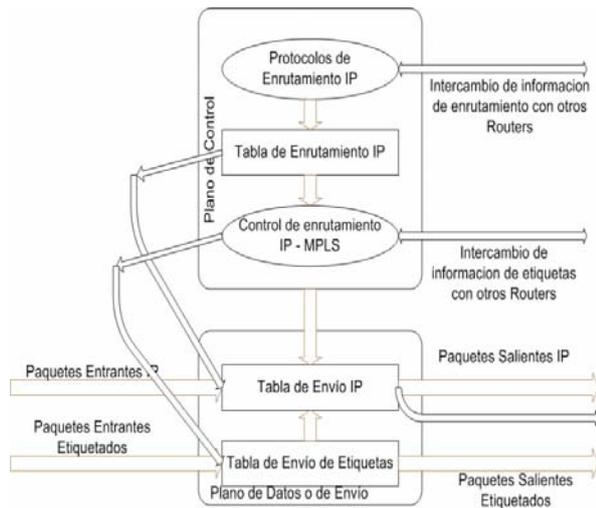


Figura 2.- Diagrama de Bloques del LER

### 3.3. Label (Etiqueta)

La etiqueta en MPLS es un identificador de longitud corta y constante que se emplea para identificar una clase de envío equivalente (FEC), normalmente con carácter local. La etiqueta o pilas de etiquetas indican el camino que un paquete IP etiquetado debe seguir hasta alcanzar su destino. En la tecnología TCP/IP la etiqueta se encuentra empaquetada en la cabecera MPLS (fig. 3).

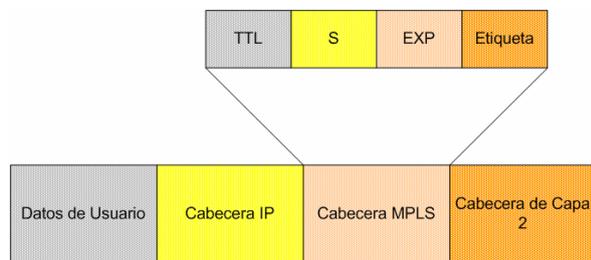


Figura 3. - Cabecera MPLS

### 3.4. Label Switched Path (LSP) – (Ruta Conmutada de Etiquetas)

El LSP es la ruta construida a base de concatenar uno o más LSRs dentro de un nivel jerárquico por el que un paquete etiquetado y perteneciente a una determinada clase puede circular. En MPLS todos los paquetes pertenecientes a una misma clase equivalente de envío circulan por el mismo LSP.

### 3.5. Forwarding Equivalence Class (FEC) – (Clase Equivalente de Envío)

La Clase Equivalente de Envío (FEC) hace referencia a un subconjunto de paquetes IP que son

tratados de la misma forma por un ruteador (sobre la misma ruta y con el mismo tratamiento de envío). Se puede decir que en el enrutamiento convencional, cada paquete está asociado a un nuevo FEC en cada salto. En MPLS la operación de asignar una FEC a un paquete solo se realiza una vez que el mismo ingrese a la red.

## 4. Descripción Funcional de una Red MPLS

La tecnología MPLS centra su funcionamiento en los Planos de Control y Planos de Envío de los ruteadores, ya sean estos de frontera o del núcleo de la red (LSR o LER). En la componente de control se encuentran los protocolos de enrutamiento y de distribución de etiquetas, los mismos que permiten que se comparta la información con dispositivos adyacentes. Al intercambiar información entre los ruteadores, se crea en la componente de envío lo que son las tablas de envío de etiquetas y las tablas de envío IP (si se trata de LER).

Al ingresar un paquete IP a una Red MPLS, el mismo es etiquetado en la frontera del dominio y viaja a través del backbone según le indiquen los LSRs de tránsito que se encargan de intercambiar las etiquetas hasta que un paquete alcance su destino final, donde se toman decisiones dependiendo el siguiente salto correspondiente al paquete, el cual puede ser un salto a otra red MPLS como también IP en el cual se procede a remover la etiqueta del paquete y utilizar enrutamiento convencional (fig. 4). La manera en la que los ruteadores de un dominio MPLS intercambian sus etiquetas puede ser realizada mediante técnicas de solicitud de etiquetas (Downstream bajo demanda o sin solicitar), para lo cual son partícipes los protocolos de intercambio de etiquetas y señalización como LDP y RSVP, los mismos que ayudan también a marcar el camino que un paquete debe seguir.

Dado que existen protocolos para la asignación de etiquetas y señalización de LSPs, en MPLS al igual que en las tecnologías de transporte de TCP / IP se utilizan los mismos protocolos en lo que corresponde al encaminamiento dinámico de paquetes, ya sea protocolos de vector distancia o entidades de estado de enlace (RIP, IGRP, OSPF, BGP); permiten que el cálculo de las mejores rutas ayuden en las mejoras del desempeño de una red, permitiendo así rápida convergencia, escalabilidad y robustez.

En cuanto al variado número de aplicaciones que ofrece un backbone MPLS se centra el estudio en lo que respecta a las VPNs, las cuales son la solución más rentable a la hora de enlazar dos sitios geográficamente distantes enviando su información a través de un medio público; la Calidad de Servicio – QoS, la misma que puede ser implementada para clasificar el tráfico, gestionar en ancho de banda según las aplicaciones, y prevenir la congestión enviando el flujo correspondiente a aplicaciones de alta importancia a través de túneles de Ingeniería de Tráfico evitando así la carga en los enlaces de la red.

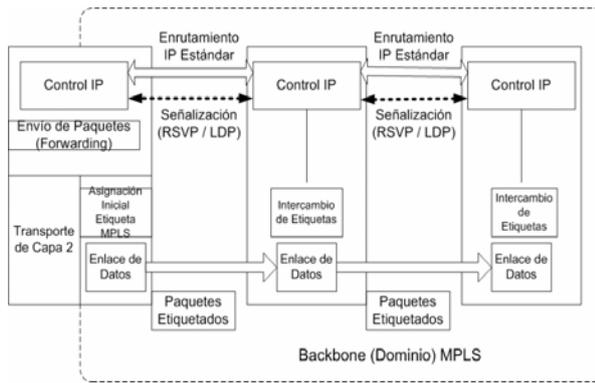


Figura 4.- Envío MPLS

## 5. Descripción del Diseño y Topología de la Red

En cuanto al diseño de una red MPLS (fig. 5), un proveedor de servicios de red debe considerar una serie de aspectos para asegurarse que el diseño a elegir pueda soportar el manejo de grandes cantidades de información y pueda ofrecer seguridad en el transporte de la misma. Consideraciones como: tener un núcleo de red completamente mallado, es decir con todos los dispositivos conectados entre sí para tener redundancia de enlaces, es un factor muy importante ya que la información que atraviesa un backbone debe tener una serie de caminos opcionales para alcanzar su destino, ya que si algún enlace o algún nodo falla, la información puede ser direccionada por un enlace de respaldo.

En el diseño debe considerarse además la plataforma de dispositivos que deberían utilizarse, ya que aquellos dispositivos tienen que soportar los grandes volúmenes de información, procesando la misma de una manera eficiente y sin ocasionar pérdidas, dando a entender de esa manera que se puede contar con una red fiable, robusta y capaz de entregar la información eficientemente ofreciendo las garantías que se requieren en el transporte. Los dispositivos deben ofrecer la calidad de servicio adecuada según lo demande cierta aplicación ya sea esta de alta prioridad o de prioridad media, ofreciendo además el encaminamiento correcto evitando de esa manera saturar los caminos de la red.

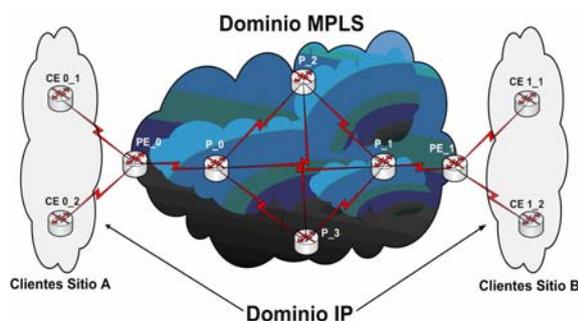


Figura 5.- Dominio MPLS y núcleo full mesh

Para los usuarios que deseen enviar su información a través de la nube MPLS se debe ofrecer una topología lógica de tal manera que haga parecer que se cuenta con enlaces dedicados desde un sitio matriz hacia cada una de las agencias con las que pueda contar una empresa típica. Una red diseñada con MPLS que será utilizada para el envío de información debe ser transparente a los clientes dado que, al contar con una topología definida se puede alcanzar los destinos por diferentes caminos y así hacer del transporte de la información algo confiable. La gráfica (fig. 6) da una referencia de cómo se conectan las agencias de una empresa típica con su matriz para ser servidas de las distintas aplicaciones que deban utilizarse tales como: correo, transferencia de archivos, voz, mensajería instantánea, aplicaciones transaccionales, etc.

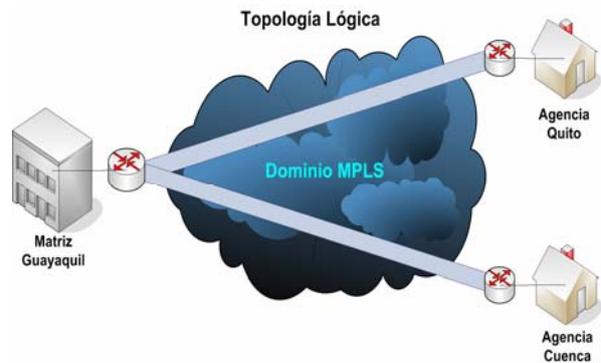


Figura 6.- Topología que define la conectividad de una Matriz con sus Agencias o Sucursales.

## 6. Implementación del Diseño de la Red mediante Dynamips.

La validación de un diseño de red MPLS puede ser realizado con herramientas simulación muy poderosas que garantizan confianza a la hora de emular el diseño. Herramientas como Dynamips / Dynagen, las cuales son configurables, rigurosas, portables, etc., permiten analizar los datos de una red tal y como se trabajara en un entorno real con equipos de plataforma Cisco. El poder de estas herramientas radica en el uso directo del sistema operativo (IOS) de los dispositivos de enrutamiento, logrando además que se pueda simular las conexiones del equipamiento y se haga un emparejamiento (matching) de entornos real y virtual al momento de la emulación. A la hora de simular el diseño elegido con Dynamips / Dynagen, se puede pensar que se trabaja en un ambiente real, y las tareas que se realizan en entornos reales pueden ser simuladas también, garantizando que el funcionamiento de una red tenga un desempeño adecuado al momento de tener una implementación con dispositivos reales.

Tareas como la habilitación de protocolos de enrutamiento OSPF, BGP; protocolos de señalización y

distribución de etiquetas como LDP y RSVP, pueden ser implementados, ayudando de esa manera a tener ambientes que además podrían incurrir en el uso de aplicaciones como redes privadas virtuales (VPN), Ingeniería de Tráfico, y Calidad de Servicio para información que pueda atravesar la red MPLS al momento de realizar simulaciones de ruteadores de clientes que sean capaces de generar tráfico. La capacidad que hace que el simulador sea analizable, es de gran ayuda ya que refuerza los conceptos en lo referente a las aplicaciones que soporta un backbone MPLS. Es necesario saber que al momento de tener una aplicación de VPN MPLS, los paquetes atravesando la nube llevan dos etiquetas siendo la primera aquella que lleva la dirección del ruteador de frontera que será su salto siguiente y la segunda aquella que le indica como el dispositivo de frontera alcanzado debe enviar la información al dispositivo ubicado en el lado de un cliente.

Para cuestiones de ingeniería de tráfico se logra entender que un túnel LSP ayuda a evitar la sobrecarga de información en una red, logrando de esa manera que se tengan rutas o caminos específicos para la información de alta importancia y caminos opcionales para las aplicaciones de baja prioridad, dando lugar a que el mismo trato que se le puede dar al tráfico en entornos reales mediante técnicas de calidad de servicio y técnicas de gestión de ancho de banda pueda ser dado también al tráfico de menor volumen en los entornos de simulación logrando de esa manera que la herramienta de emulación sea útil para implementaciones reales habiendo primero analizado los resultados obtenidos.

## 7. Pruebas Realizadas

De las implementaciones de los servicios que puede brindar la red MPLS de un proveedor se pueden obtener muchos resultados. El hecho de que un cliente piense que sus empresas poseen enlaces dedicados para conectarse con sus agencias, es uno de los objetivos principales de la implementación de conexiones VPNs entre la matriz y las agencias (fig. 6). Las agencias de una empresa típica pueden acceder a los distintos aplicativos que su matriz les pueda ofrecer por medio de conexiones VPN en MPLS.

Para la validación de esta implementación y para la obtención de buenos resultados, se emulan aplicaciones de correo, transferencia de archivos, mensajería instantánea, etc., tal como se da en el típico esquema empresarial que se pueda tener hoy en día en donde, los usuarios de una agencia descargan sus correos desde un servidor principal ubicado en la matriz por medio de una conectividad VPN entre los dos puntos mencionados (agencia – matriz). De igual manera se emula el servicio de transferencia de archivos dado que existen muchas ocasiones en las que se necesite contar con el acceso a base de datos y archivos.

La información que es enviada a través de una red MPLS debe ser clasificada al ingresar a la nube para ser

servida de la manera más eficiente según la prioridad (QoS) que el proveedor de servicios haya implementado en su dominio evitando de esa forma saturar su red proveedora de transporte.

Otra de las aplicaciones que hoy en día es muy usual encontrar, es la administración remota, para lo cual se ha dado un nivel de prioridad un poco menor al envío de correos, siendo también de mucha importancia en el campo de la gestión en estos días. La administración remota ha sido emulada con la aplicación “TELNET” a la cual se le asigna cierto porcentaje de ancho de banda en la red de un proveedor para que no afecte a aplicaciones que puedan demandar una mayor velocidad en la transmisión de información.

## 8. Conclusiones

Se presenta una solución a los proveedores de servicios que deseen migrar sus redes actuales a un ambiente seguro mediante la implementación de redes MPLS para entablar enlaces ya sean de voz y datos de aquellos clientes que deseen enviar información a través de estas medios públicos.

El refuerzo al estudiar la tecnología MPLS se valida con la implementación de aplicaciones que puede soportar un Backbone con tecnologías de nueva generación, conjuntamente con el uso de herramientas que permiten ejecutar directamente los sistemas operativos de plataformas de Cisco y además permiten que se simulen entornos como si se estuviera trabajando en un ambiente real.

Para el diseño de una red MPLS se consideran aspectos como: redundancia de rutas, equipos con sistema operativo adecuado para el soporte de la tecnología y eficientes en lo que corresponde al manejo del gran volumen de información que circula por un núcleo de la red de un proveedor.

Al implementar los servicios de VPNs en MPLS no es necesario contar con direccionamiento global o público para la formación de la conexión punto a punto ya que este tipo de tecnologías, crea las VPN en base a instancias de enrutamiento y envío (VRF), por lo cual un cliente puede conservar su esquema de direccionamiento privado sin necesidad de realizar traducción de direcciones privadas a públicas (NAT).

Los túneles de ingeniería de tráfico MPLS son de mucha importancia en lo que respecta a la señalización de caminos específicos por los que la información debe viajar, llegando a su destino por una vía más rápida o un enlace menos congestionado.

La calidad de servicio en una red mejora el desempeño de la misma y ayuda a priorizar a las aplicaciones que se ejecutan en los sitios de los clientes y que posteriormente atraviesan una nube MPLS. Gracias a las herramientas de QoS se logra que los usuarios respeten las condiciones de transmisión que se pueden estipular en un contrato, manejando las mismas con técnicas que preserven a la información de las pérdidas, retardos, etc.

Aplicaciones tales como: servicio de correo electrónico, mensajería instantánea, transferencia de archivos, voz, video, administración remota, etc., deben ser correctamente gestionados por un proveedor de servicios de transporte MPLS para evitar la sobrecarga en el núcleo de red sirviendo además eficientemente a las aplicaciones de misión crítica.

## 9. Recomendaciones

Para comprender profundamente una tecnología de nueva generación, es recomendable conocer y tener en claro las funciones de los elementos que son partícipes y que definen la topología de una red teniendo en cuenta además la ubicación que deben tener los mismos.

Para un cliente que desee entablar sus redes de voz y datos distantes geográficamente, se recomienda que un proveedor de servicios aplique redes privadas virtuales como solución mas viable tanto técnica como económicamente en la conexión punto a punto de las sucursales logrando de esa manera que el cliente sienta que posee los enlaces físicos.

Es recomendable que el tráfico enviado por los usuarios sea gestionado en el Backbone distribuyendo el mismo en clases de servicio diferenciando las mismas por sus niveles de prioridad logrando que tengan ventajas las aplicaciones de misión crítica.

Generalmente es recomendable que los proveedores de servicios de redes de telecomunicaciones ofrezcan una red unificada en su Backbone mediante el protocolo MPLS simplificando su operación y mantenimiento, además potencializando su inversión en redes heredadas (ATM, Frame - Relay, PPP, etc.) al multiplicar el ancho de banda soportado.

## 11. Agradecimientos

Agradecemos a MAE. Ivonne Martín Moreno por su más profunda colaboración en lo que concierne al desarrollo de un valioso proyecto que impulsa a la sociedad a seguir investigando y de esa manera encontrar a futuro soluciones que presentar a los miles de usuarios de determinados servicios que van creciendo con el pasar de los días.

## 12. Referencias

- [1] Canalis, María, "Multiprotocol Label Switching – Una Arquitectura de Backbone para la Internet del Siglo XXI", Año: xxxx, Argentina. <http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/informatica/SistemasOperativos/libmpls.PDF>
- [2] Olof, P., Johan, M., "MPLS Based Recovery Mechanisms", Mayo 2005. Oslo. <http://folk.uio.no/johanmp/MPLS%20Based%20Recovery%20Mechanisms.pdf>.
- [3] Sanchez, Sergio, "Interconnection of IP / MPLS Networks through ATM and Optical Backbones using PNNI Protocols", Junio 2003, España, [http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0729104-125109//TESI.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0729104-125109//TESI.pdf)
- [4] Belzarena, Pablo, "Ingeniería de tráfico en Redes MPLS aplicando la Teoría de Grandes Desviaciones", Año 2003, Uruguay, <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2003/Bel03/Bel03.pdf>.
- [5] Ulloa, Alejandro, "Análisis, Diseño de una Subred de Comunicaciones Metro Ethernet Basado en la Tecnología MPLS Aplicada a Estudio de la Integración de Servicios", Marzo 2007, Ecuador.