

MPLS – Multiprotocol Label Switching

V Foro Tecnológico @asLAN: "Banda Ancha y su Entorno"
Palacio de Congresos de Madrid
2-3 de Octubre de 2002

Unitronics Comunicaciones, S.A.

Adolfo García Yagüe
agy@unitronics.es



Hacia la Nueva WAN

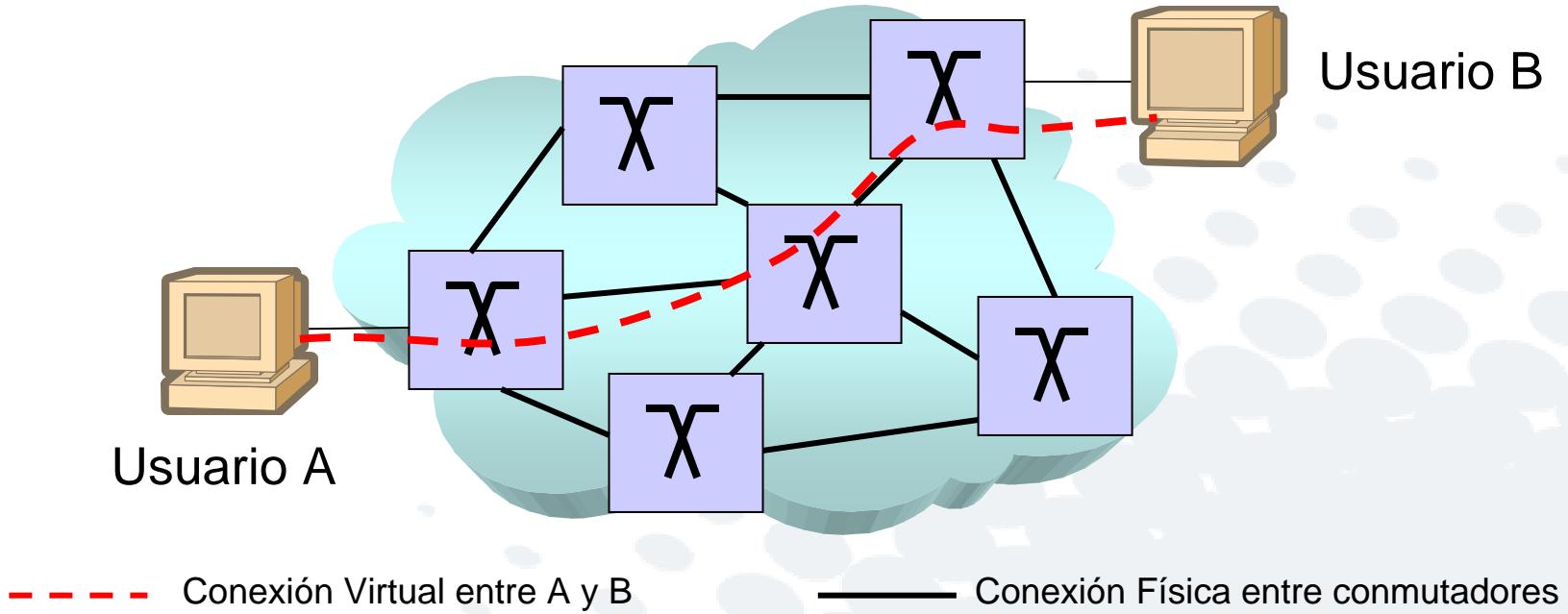
- Razones económicas y la universalización de IP están fomentando el desarrollo y despliegue de redes IP en la WAN
- El reto inmediato de estas redes es ofrecer un servicio de calidad extremo a extremo, con cumplimiento de SLA, similar al ofrecido con Circuitos P-P, SDH, Frame Relay o ATM
- El desarrollo de VPN se posiciona como un servicio clave
- Transporte e integración de servicios no-IP
- Necesidad de abstracción del nivel físico y tecnología de transporte: ¿En el futuro sobre qué tecnología transportaremos nuestros datos? ¿Comutación de lambdas?

Agenda

- **Introducción y Conceptos**
 - Orientado/no orientado a la conexión
 - Traffic Engineering
 - Elementos de routing y switching
 - IP
 - IP sobre ATM
- **Funcionamiento de MPLS**
 - Arquitectura
 - Características
 - Perspectiva histórica
 - Label Switching
 - Elementos MPLS: LER y LSR
 - Plano de control y Difusión Topológica
 - Señalización
 - Ships in the Night
- **Servicios VPN MPLS**
 - L2 VPN
 - EoMPLS
 - ATMoMPLS
 - VPLS
 - L3 VPN



Orientado a la conexión



Antes de la transferencia de información entre origen y el destino se establece una conexión entre ambos. Cada elemento de conmutación intermedio es identificado e informado de la intención de establecer la citada conexión.

Beneficios: negociación de la ruta optima, reserva de recursos y comportamiento de la red predecible

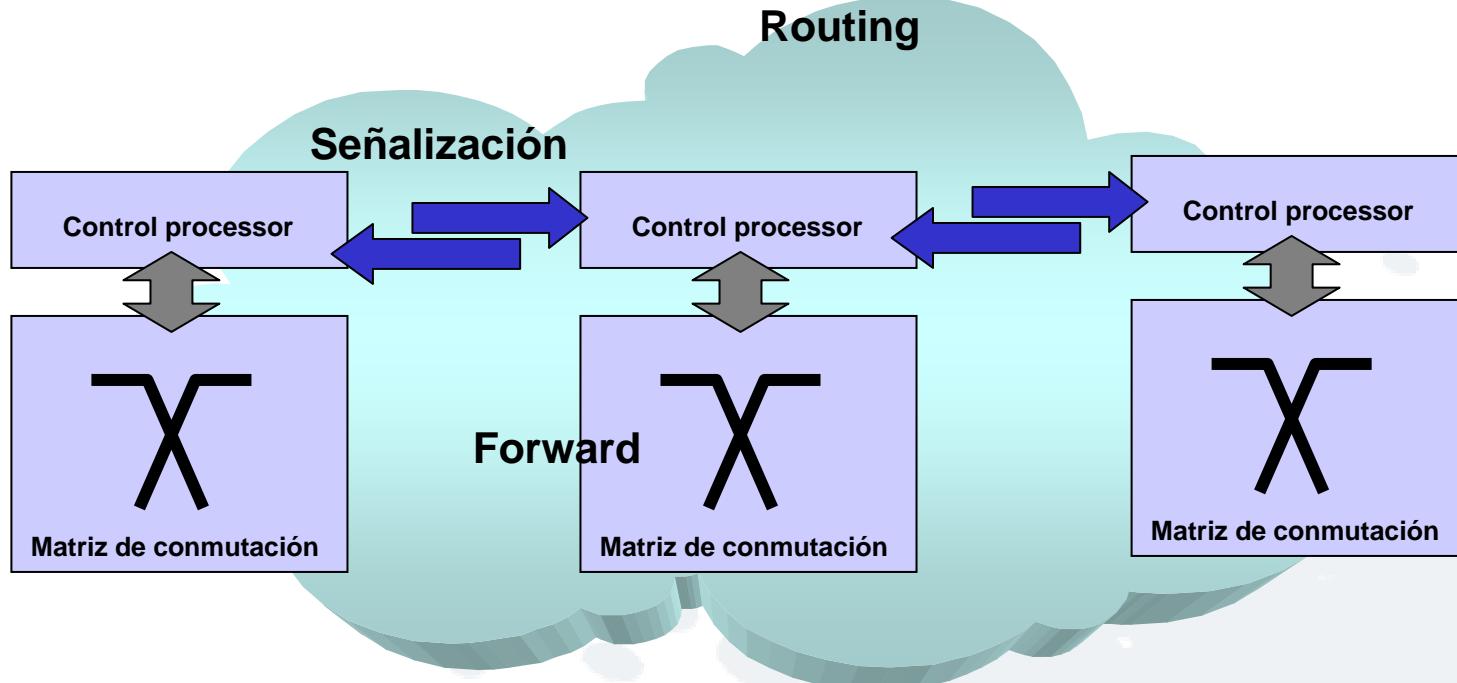
Traffic Engineering - TE



Se puede decir que una Tecnología soporta QoS cuando ofrece capacidades TE en las siguientes áreas: Tráfico y Recursos

- Las capacidades TE orientadas al tráfico dirigen su actividad sobre cada flujo de información, controlando:
 - Perdida de paquetes o celdas
 - Retardo
 - Variación de Retardo
 - Throughput (Mbit/s y Burst)
- TE orientado al recursos busca conseguir el uso eficiente de las capacidades de la red.
 - Gestión del ancho de banda
 - Prevención de congestión
 - Proporcionar rutas alternativas

Elementos de Routing y Switching

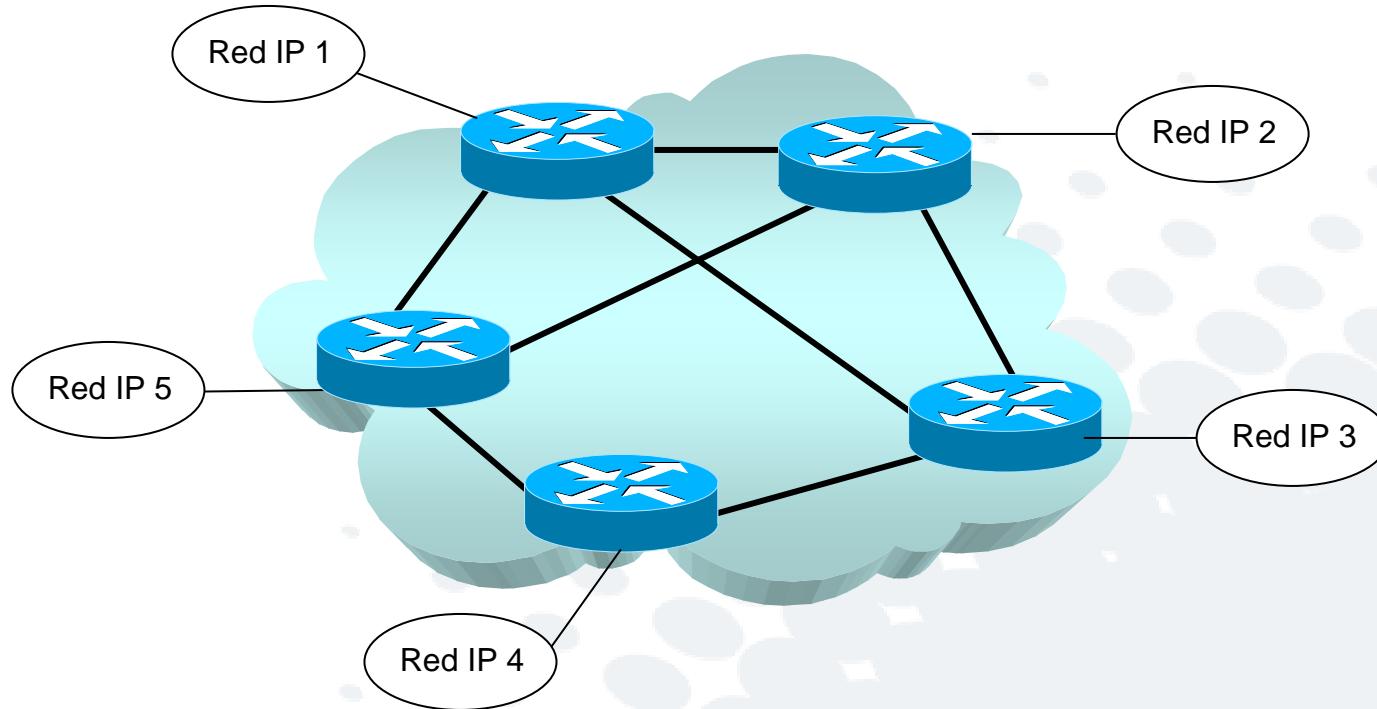


- **Routing.** Ofrece un visión global de la red a los elementos que la componen. Esta visión debe incluir las rutas posibles y su estado.
- **Señalización.** Permite el intercambio de mensajes entre los elementos que componen la red. La señalización puede incluir mensajes relativos a la QoS.
- **Forward.** Desarrolla la transferencia de información a través de la red. Este proceso se puede efectuar a distintos niveles OSI (2 y 3).

IP Vs ATM: ¿Dónde están las diferencias?



- Orientado a conexión
- Características TE
- Señalización
- Proceso de Forward
- Plano de control y routing

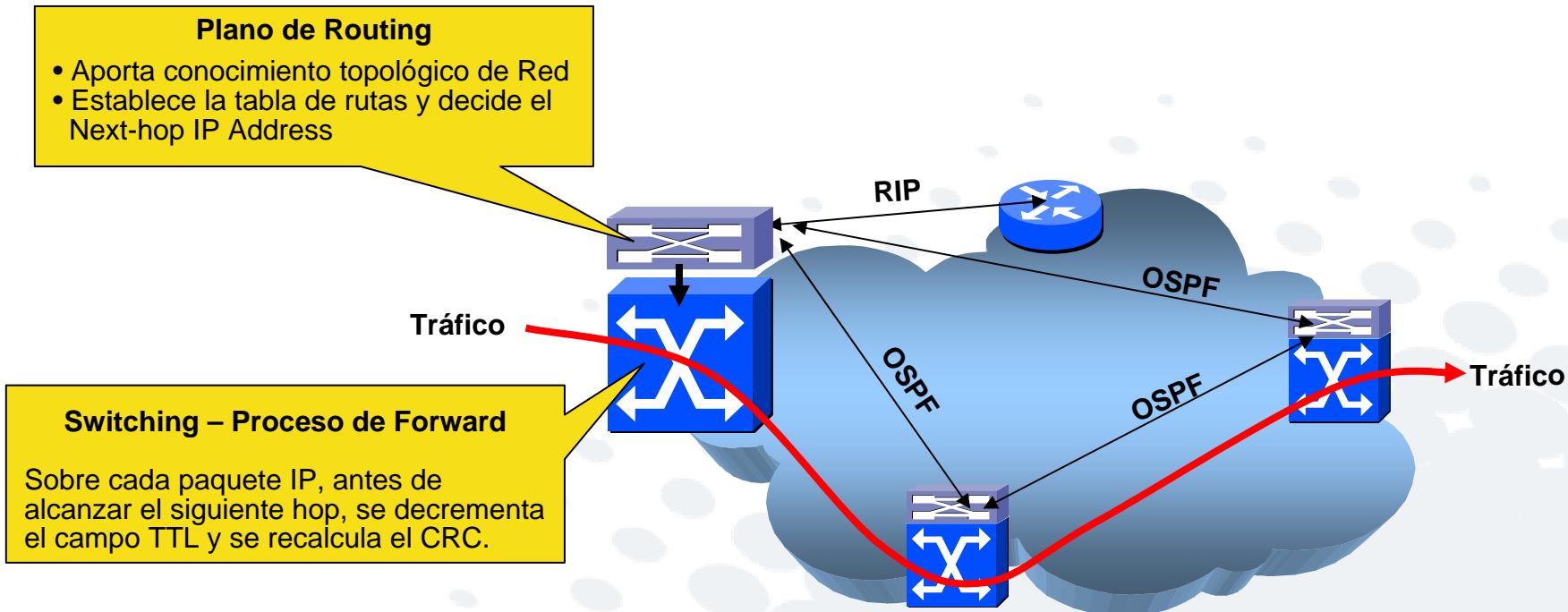


— Conexión Física entre routers/conmutadores IP

Solo es preciso la conexión física entre routers/conmutadores IP,
los protocolos de routing IP se encargan del resto

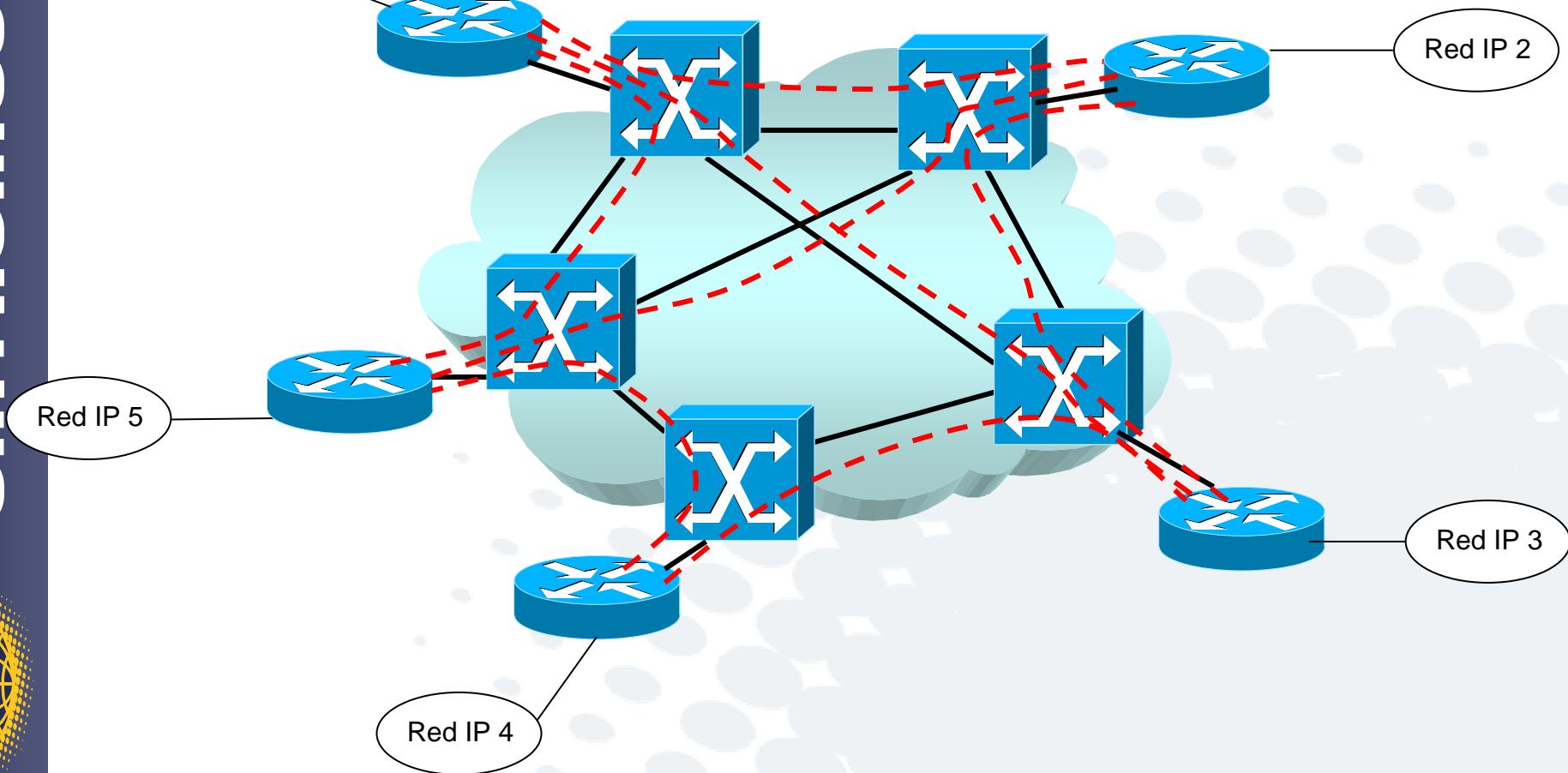
- IP es un protocolo no orientado a la conexión
 - Incapacidad de controlar la hiperagregación de sesiones sobre un mismo enlace
 - Ineficiente manejo de las situaciones de congestión
 - En caso de fallo, redistribución del tráfico lenta
 - Incapacidad de proporcionar un buen servicio extremo-extremo
- IP tiene limitados y poco elaborados mecanismos TE
 - TCP Rate Shapping
 - TOS, IP Precedence y Diffserv
 - RSVP
 - Mediante OSPF y BGP-4 no es posible conocer ni transmitir el estado cualitativo de una Red
- A su favor:
 - IP es Internet, es universal

El proceso de Forward en IP



- Sobre el proceso de Forward:
 - Implica efectuar un re-cálculo y modificación de varios campos por cada paquete a nivel 3.
 - El proceso de forward está estrechamente vinculado al proceso de routing, son inseparables

IP sobre ATM



Conexiones Virtuales (PVC) entre routers

Conexión Física entre comutadores ATM

IP sobre ATM



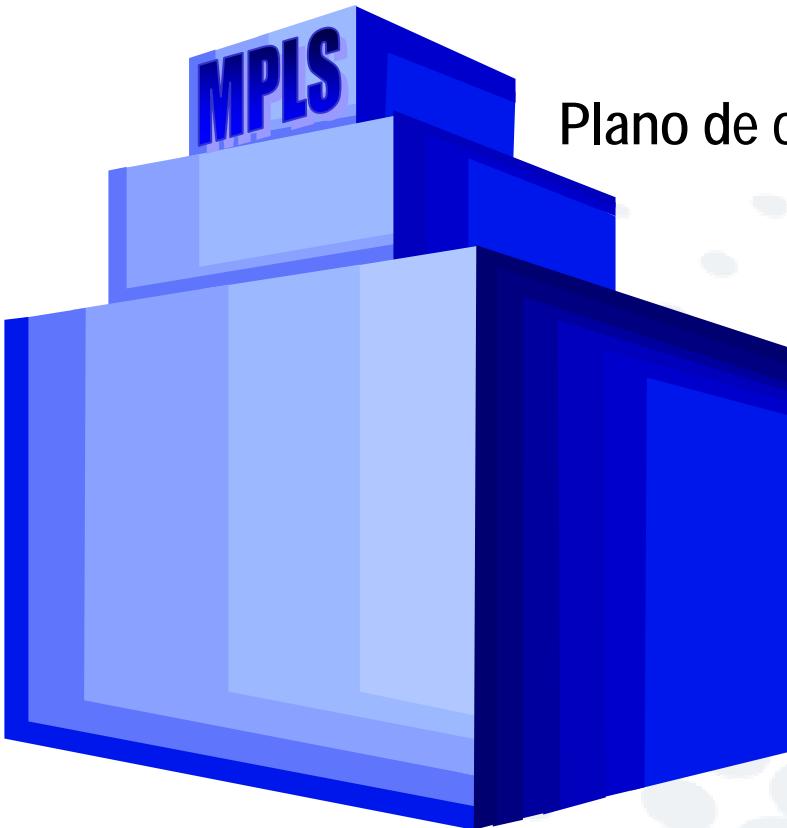
- Complejo, costoso y no escala bien cuando se trata de IP
 - Los routers IP desconocen la topología de la red ATM
 - Complejas mallas de PVCs en la red ATM. $(n \times (n-1)/2)$ PVCs !!
 - Desde los routers no se aprovecha la QoS de ATM
 - Dos planos de control y gestión: Routers IP y Switches ATM
- Acerca de los procesos de forward
 - Limitación de SAR-ATM a interfaces OC-12
 - Cell-Tax
- A su favor:
 - Tecnología orientada a la conexión
 - Proceso de forward basado en nivel 2, muy sencillo y rápido
 - Dispone de señalización nativa QoS (UNI)
 - Cuenta con el único protocolo existente de routing QoS (PNNI)



Agenda

- **Introducción y Conceptos**
 - Orientado/no orientado a la conexión
 - Traffic Engineering
 - Elementos de routing y switching
 - IP
 - IP sobre ATM
- **Funcionamiento de MPLS**
 - Arquitectura
 - Características
 - Perspectiva histórica
 - Label Switching
 - Elementos MPLS: LER y LSR
 - Plano de control y Difusión Topológica
 - Señalización
 - Ships in the Night
- **Servicios VPN MPLS**
 - L2 VPN
 - EoMPLS
 - ATMoMPLS
 - VPLS
 - L3 VPN

Arquitectura de MPLS



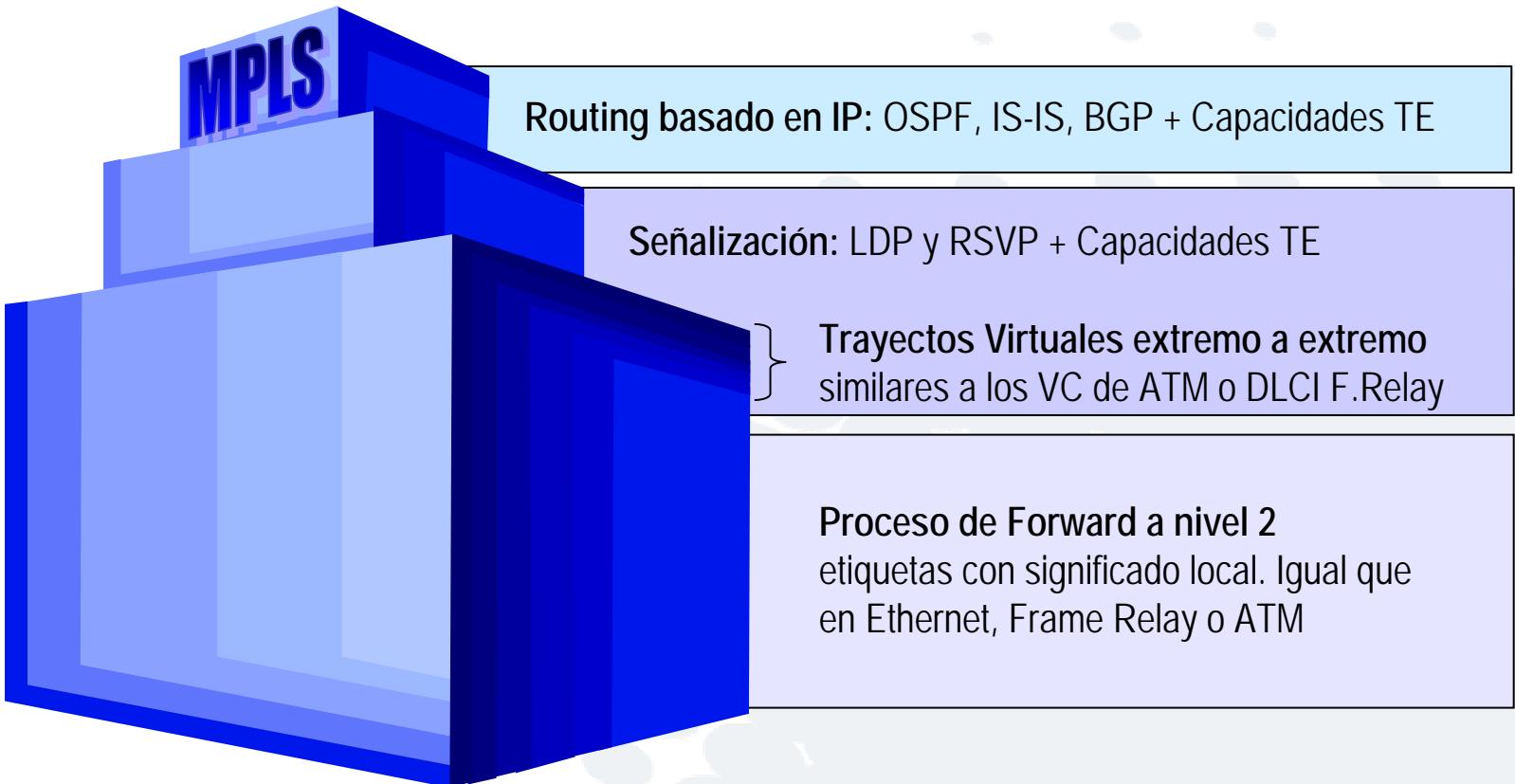
Plano de control y conocimiento topológico/TE

Nivel orientado a la Conexión

Proceso forward a L2



Arquitectura de MPLS



Características de MPLS (1/2)

- MPLS emplea IP como direccionamiento de nivel 3
- Hace uso de los protocolos de routing IP heredados. Mediante ellos, MPLS dispone de un conocimiento preciso del estado de la Red, incluyendo TE. Plano de control MPLS. Será necesario añadir extensiones TE.
- Se habilitan mecanismos de señalización, su empleo siempre precederá al establecimiento de una comunicación extremo-extremo. LDP y RSVP son los protocolos de señalización elegidos, estos protocolos soportarán reserva de recursos para satisfacer TE. Son necesarias extensiones TE.
- Cada conexión transita por un trayecto virtual extremo a extremo. Este trayecto es pactado y establecido según el estado de la Red y las necesidades de la conexión.
- El proceso de Forward no actúa sobre el contenido de nivel 3 de cada paquete. Se añade una etiqueta a cada paquete, en función de ésta se realiza el Forward. La interpretación y sustitución de cada etiqueta se circumscribe a un ámbito local, es decir, en cada comutador MPLS.



Características MPLS (2/2)

- MPLS añade al routing IP capacidades TE orientadas a recursos. Estos protocolos de routing se establecen como plano de control
- MPLS añade a IP un nivel orientado a la conexión
- IP dispondrá de señalización TE orientada a tráfico (RSVP-TE) o clase de servicio (CR-LDP)
- En MPLS se acelera y simplifica el proceso de Forward
- El proceso de Forward se abstracta de los niveles superiores. Permitiendo desarrollar MPLS en los actuales conmutadores ATM, Frame Relay, Ethernet y por supuesto routers/switches IP



Perspectiva Histórica (1/2)

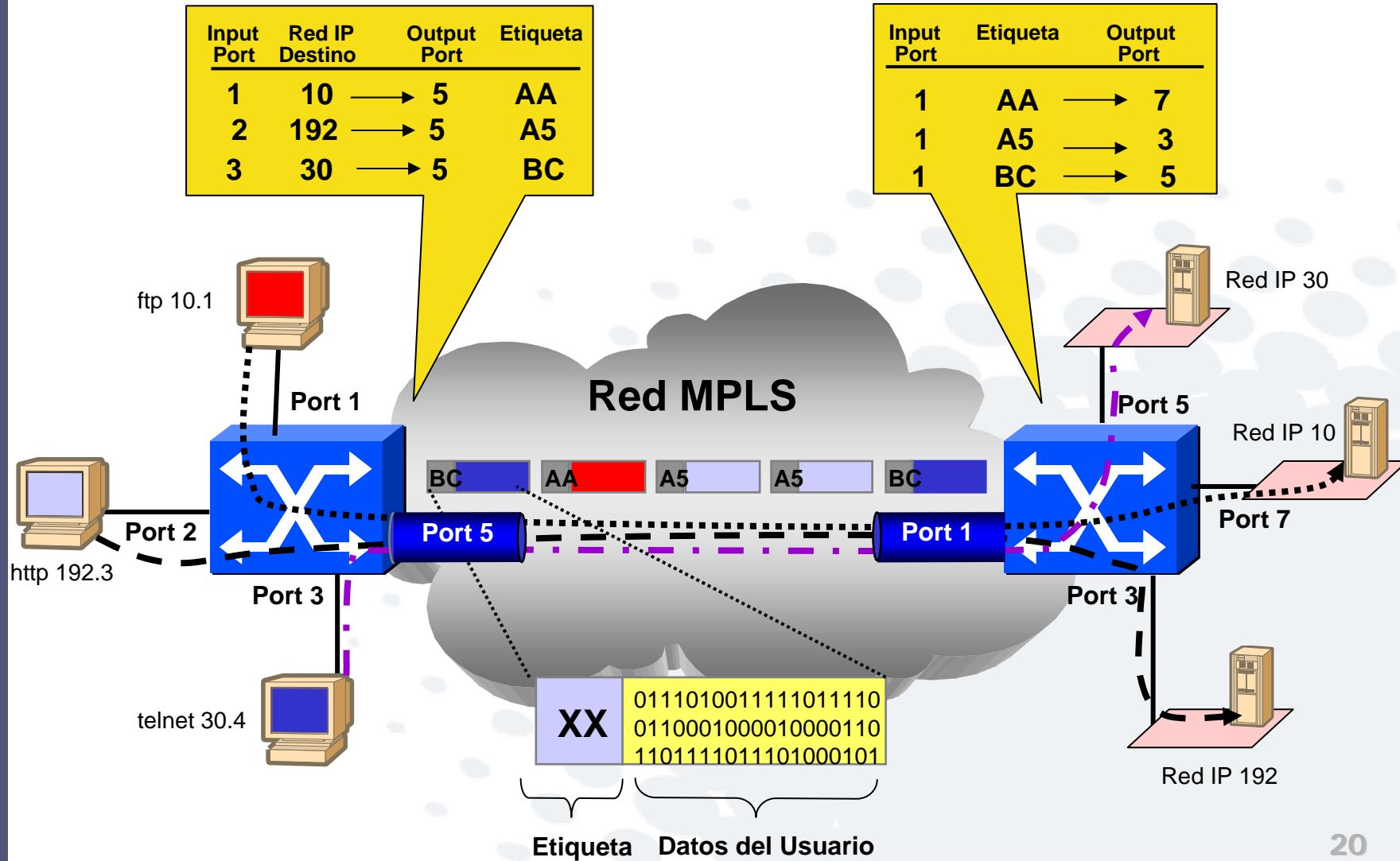
- Cell Switching Router (CSR) fue una aproximación desarrollada por Toshiba y presentada al IETF en 1994, en ella ya se proponía el control de la matriz de conmutación ATM por un protocolo de routing IP. Además, se introducía la idea de añadir etiquetas para mejorar el forward. Su uso se limitó a entornos académicos de Japón
- En 1995, algunos fabricantes empezaron a ser conscientes de los futuros problemas de escalabilidad que se avecinaban en torno a IP e Internet. En esta línea se contempló redefinir como ATM transportaba IP
- Ipsilon en 1996 introdujo una técnica conocida como IP Switching. Esta aproximación combinaba características de transporte de ATM con routing IP. En IP Switch se establecía un router por defecto dentro del backbone ATM a través del cual pasaba todo el tráfico, en función de la duración y perfil de cada conexión este router podía forzar el establecimiento de un VC directo extremo a extremo a través de ATM



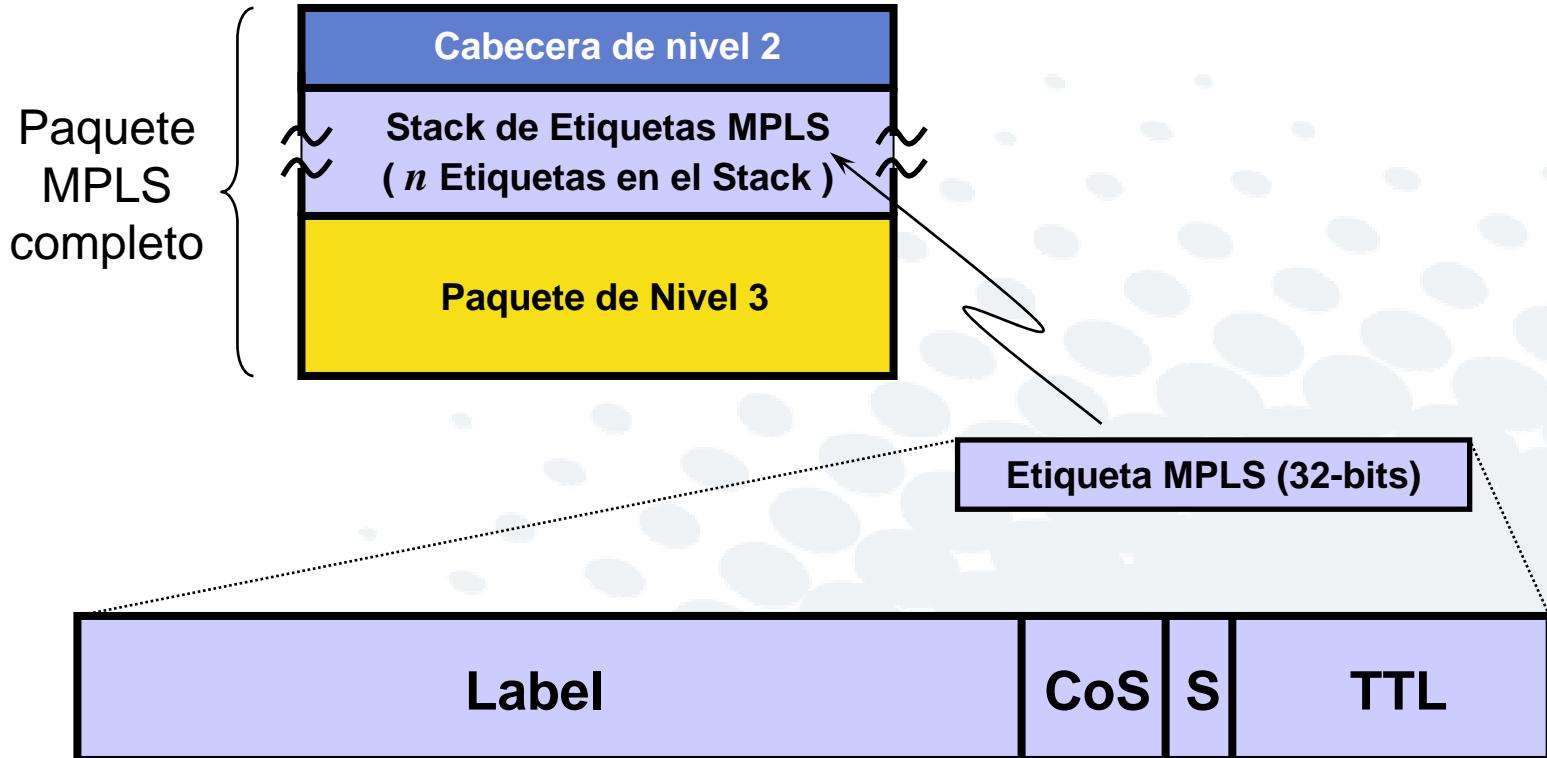
Perspectiva Histórica (2/2)

- En 1996 Cisco introduce Tag Switching, tras un año de pruebas es presentado oficialmente en 1998. En contraste con CSR e IP Switching, Cisco orienta la técnica de control hacia la topología de la red (no hacia los flujos de tráfico). En Tag switching se encuentran gran cantidad de elementos MPLS
- 1997, Aggregate Route-based IP Switching (ARIS) de IBM, tiene una aproximación similar a Tag Switching (orientación hacia la topología). ARIS vincula etiquetas con trayectos en respuesta al plano de control (protocolos de routing L3). Alguna de sus aportaciones a MPLS se centran en los protocolos de distribución de etiquetas
- Cisco, IBM y otros fabricantes presentan sus propuestas al IETF en 1997. A partir de este momento se constituyen los primeros grupos de trabajo en torno a MPLS

Proceso del Tráfico a Nivel 2 Label Switching

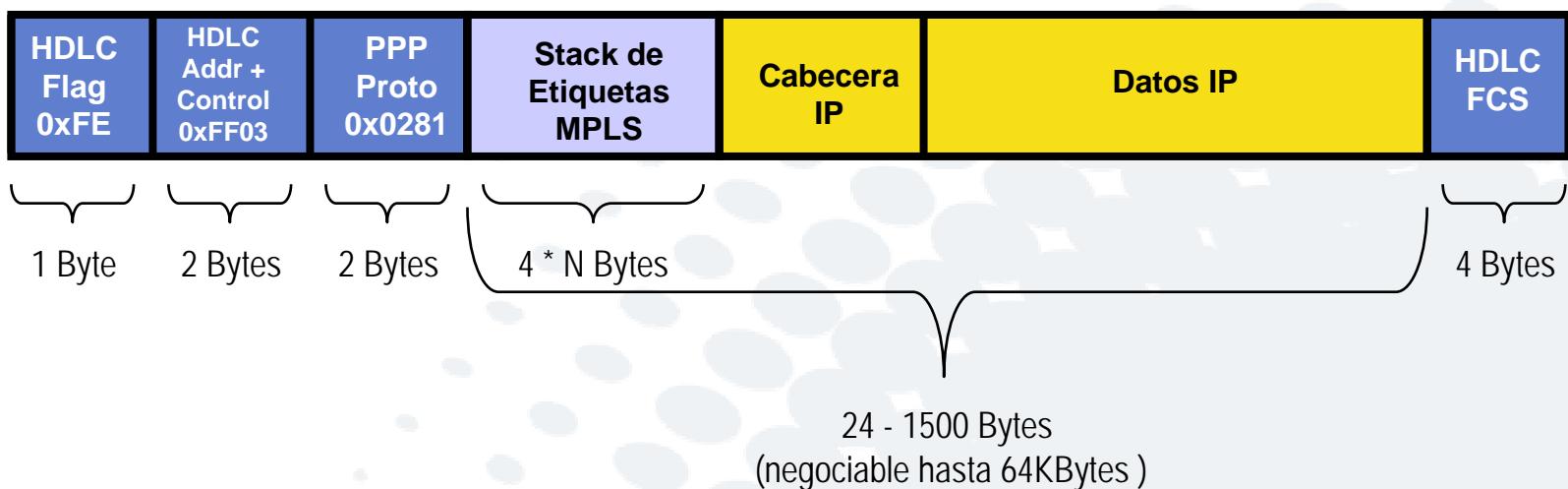


Etiquetado MPLS Genérico

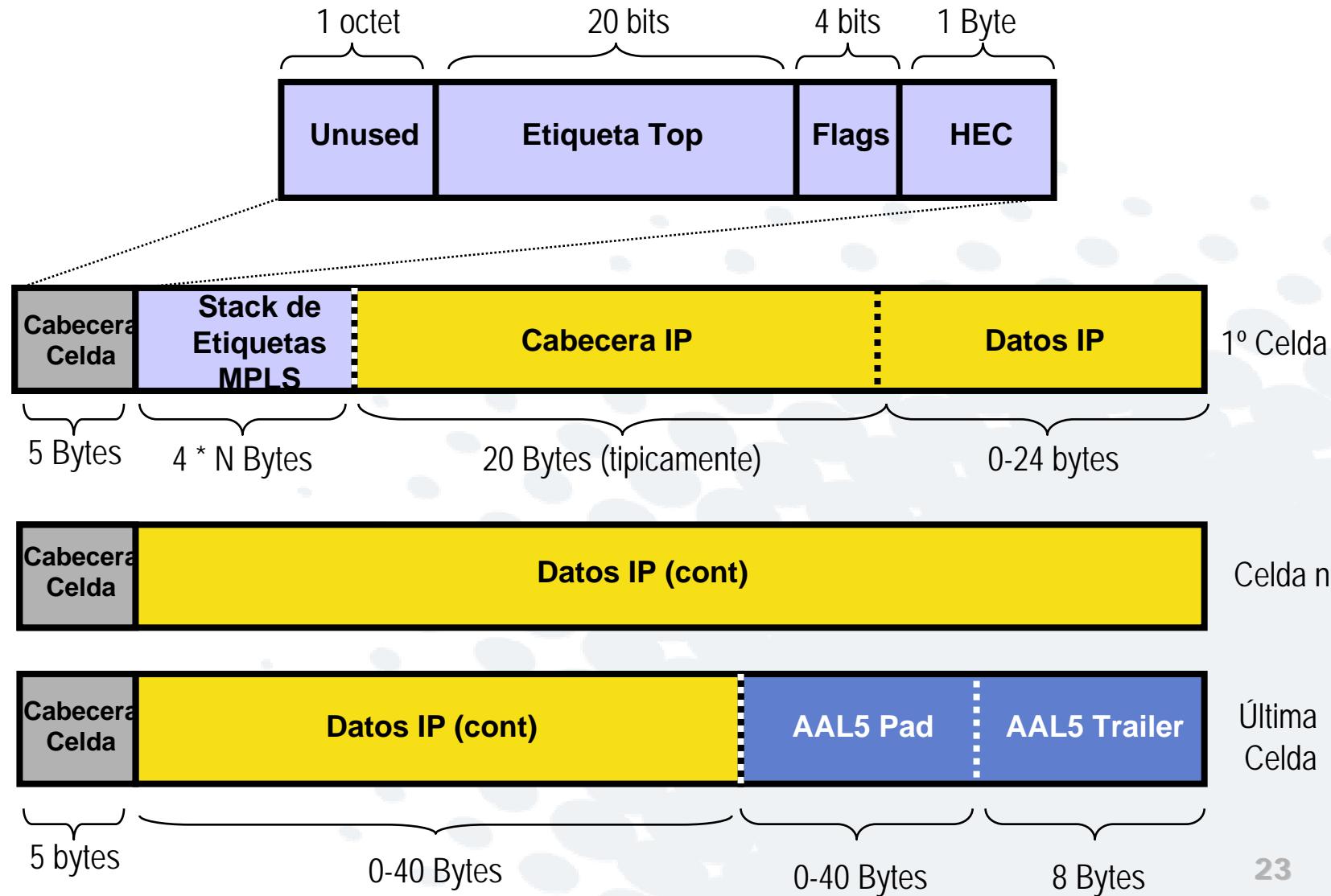


- Label: Etiqueta, 20 bits
- Exp: 3 bits Clase de Servicio
- S: Stack, 1 bit
- TTL: Time to Live, 8 bits

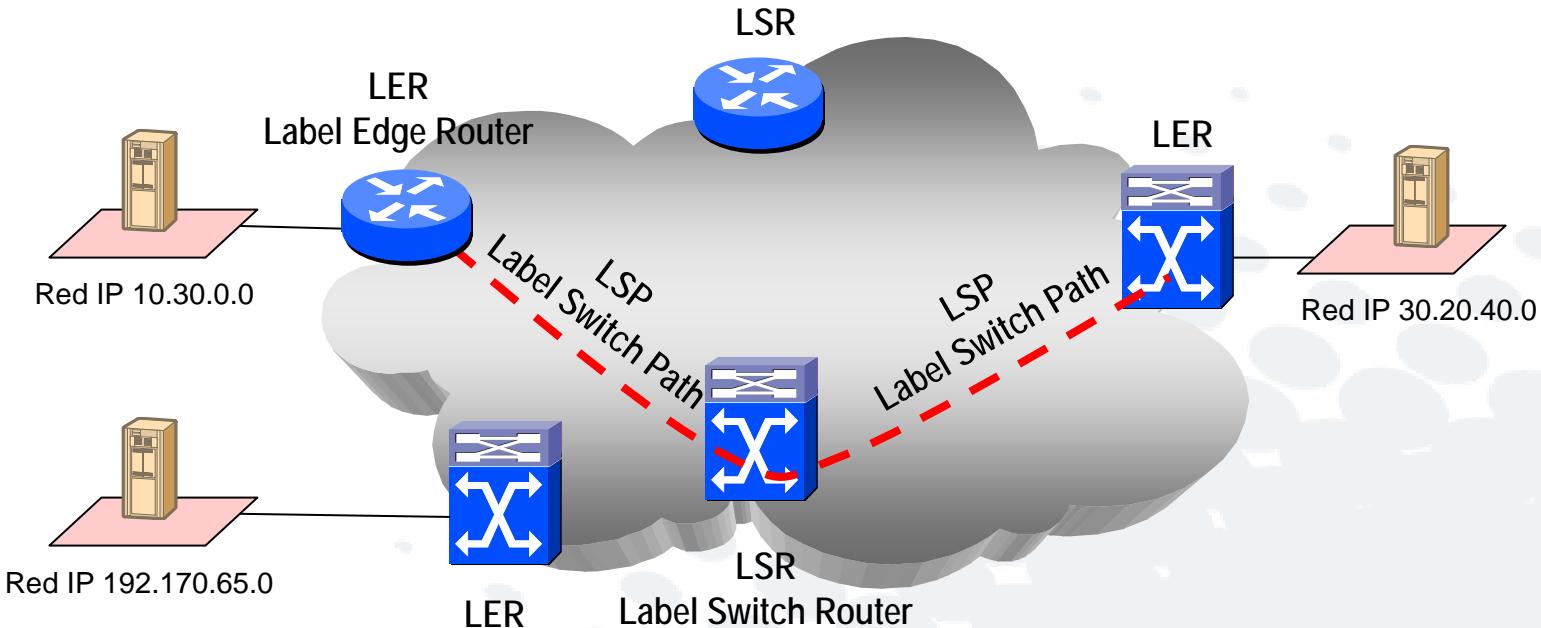
Etiquetado MPLS en conexiones PPP



Etiquetado MPLS en Celdas ATM Ships in the Night



LER, LSR y LSP



LER { Encapsulan y desencapsulan el tráfico IP añadiendo etiquetas MPLS
Conmuta a nivel 2 en función del valor de la etiqueta MPLS

LSR. Conmuta a nivel 2 en función del valor de la etiqueta MPLS

LSP. Es el trayecto a través del cual fluye el tráfico entre dos extremos

Proceso de Forward

Los flujos de tráfico que comparten la misma ruta y el mismo tratamiento en cada LSR se agrupan en Forwarding Equivalence Class (FEC)

La clasificación y asignación de un determinado tráfico IP a un FEC se realiza solo una vez, en el primer LER, a la entrada en el dominio MPLS

Para cada FEC se determina que proceso de actualización hay que llevar a cabo sobre su etiqueta en cada LSR

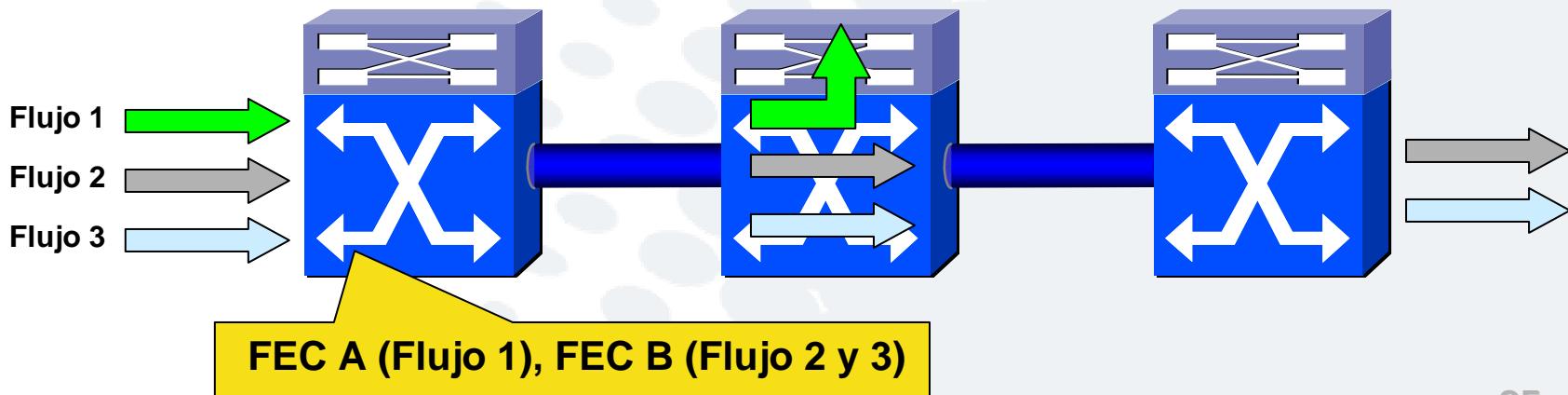
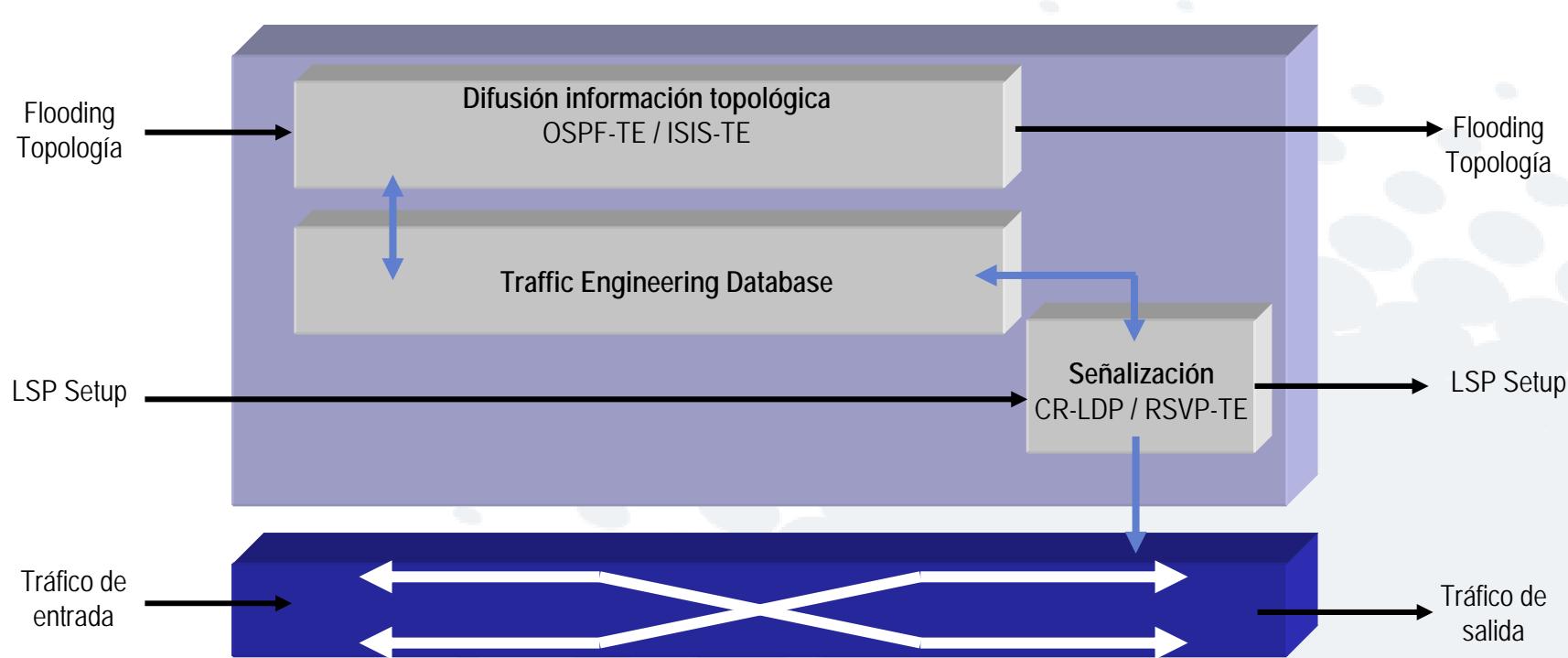
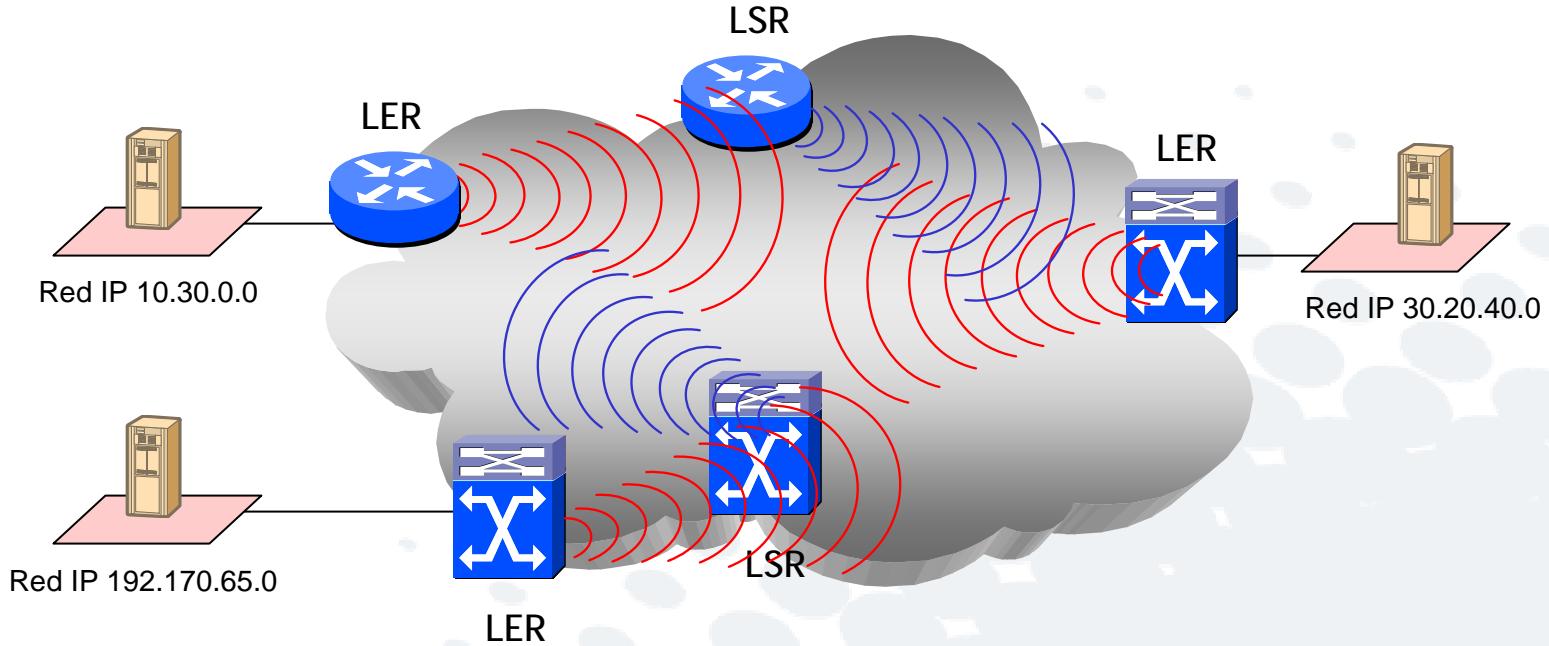


Diagrama funcional de un LER/LSR



Difusión de la Topología del Dominio MPLS



Mediante el empleo de protocolos de routing Link State (OSPF, IS-IS) cada miembro del dominio MPLS difunde un mensaje donde describe su entorno topológico junto con su estado de carga y recursos disponibles.

Para este fin es necesario habilitar extensiones en los protocolos anteriores con el fin de incluir información de relativa a Traffic Engineering

Extensiones TE para protocolos Link-State

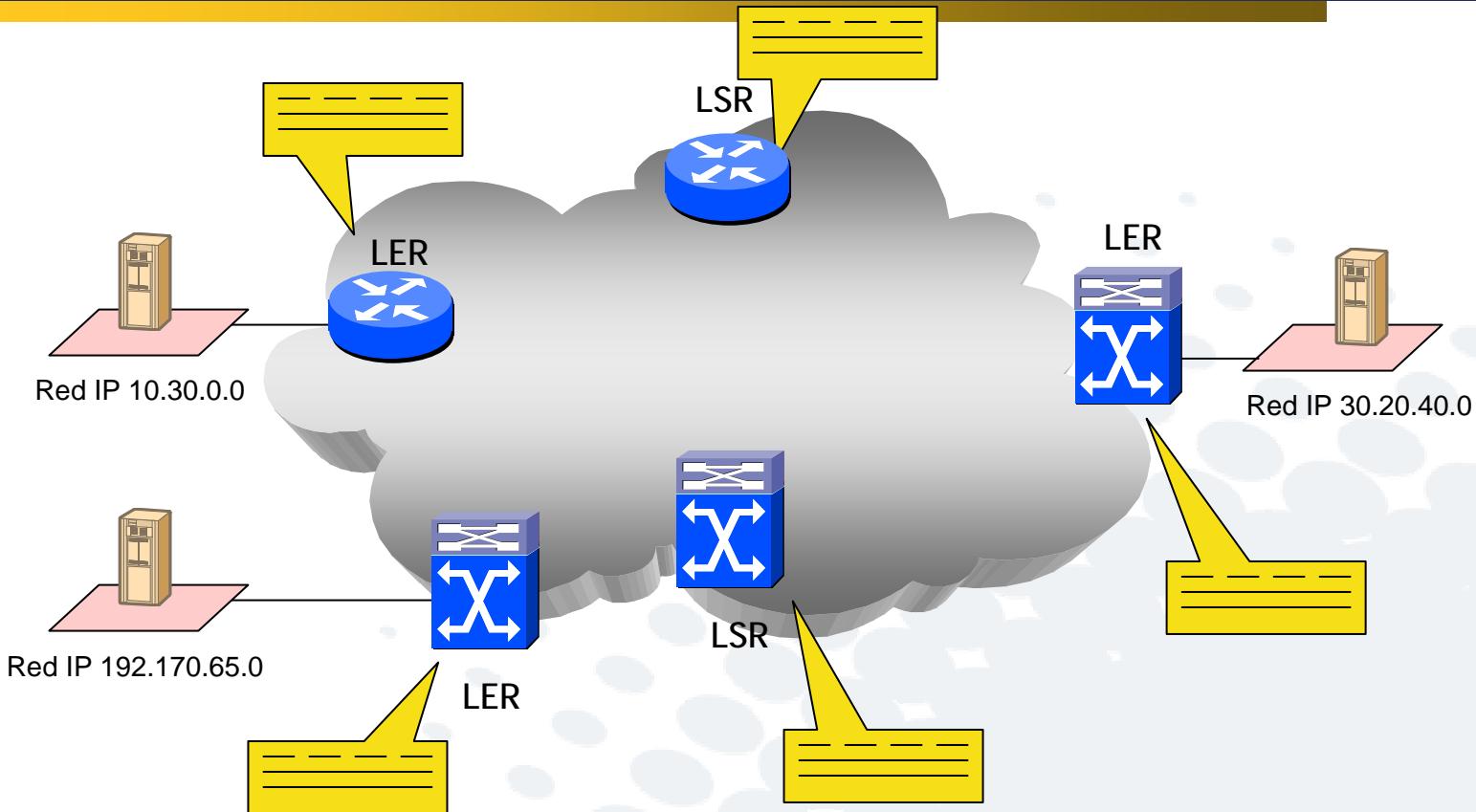
- Maximum Link Bandwidth
- Maximum Reservable Link Bandwidth
- Current Bandwidth Reservation
- Current Bandwidth Usage
- Link Coloring

OSPF difundirá de manera transparente esta información mediante un LSA (Link State Advertisement)

En IS-IS se han añadido dos nuevos TLV (Type, Length and Value Objects), TLV 22 describe el enlace y TLV 135 indica las redes IP alcanzables



Traffic Engineering Database (TED)



Tras el intercambio masivo de información, cada LER y LSR establece y mantiene una base de datos llamada TED.

A partir de la TED cada LER calcula los LSP posibles hacia los restantes LER, para este calculo se emplea el algoritmo CSPF (Constrained Shortest Path First)

Strict Path y Loose Path

- Dentro de la TED, la ruta para cada LSP puede ser representada como Strict o Loose
- Si en el LER se han especificado todos los LSR que participarán en un LSP la ruta será Strict (estricta)
- Cuando para un LSP solo especificamos algunos LSR nos referimos a un LSP cuya ruta es Loose (relajada)
- Strict fuerza una determinada ruta para un LSP cuando sea necesario satisfacer algún requisito del tráfico, mientras que Loose deja más posibilidades en el establecimiento del LSP



CSPF (Constrained Shortest Path First)

- CSPF es un algoritmo de “ruta-más-corta” modificado para tomar en cuenta las posibles restricciones en el cálculo de un LSP a través del dominio MPLS. CSPF considera los siguientes factores:
 - Información topológica generada por OSPF y IS-IS
 - Atributos asociados con el estado de la red, ancho de banda total, ancho de banda reservado y disponible en cada enlace.
 - Información facilitada por las extensiones TE.
 - Detalles administrativos introducidos por el usuario, donde se detallan el número máximo de saltos, requerimientos de ancho de banda para ciertos LSP
- Con la información anterior CSPF evalúa la participación de cada enlace y LSR en un futuro LSP



CSPF y Señalización

- El resultado de los cálculos de CSPF para una determinada ruta son una secuencia de direcciones de LSR y enlaces, éstos proporcionaran la ruta más corta y optima para un futuro LSP
- Esta información reside en TED y será empleada por el módulo de señalización en su solicitud y asignación de etiquetas para un nuevo LSP
- El establecimiento de un LSP se completa cuando el protocolo de señalización comprueba la secuencia de LSR solicitando su participación y reserva de recursos para una conexión. En este punto se efectúa la distribución de etiquetas



Señalización y Label Distribution Protocols

- Los protocolos de distribución de etiquetas (LDP) tienen dos misiones:
 - Solicitar el establecimiento de un LSP (Señalización)
 - Determinar el etiquetado aplicado a un LSP en cada LSR (Label Distribution)
- Actualmente hay tres aproximaciones LDP:
 - Label Distribution Protocol (LDP)
 - Constraint-based Routed Label Distribution Protocol (CR-LDP)
 - ReSerVation Protocol Traffic Engineering (RSVP-TE)

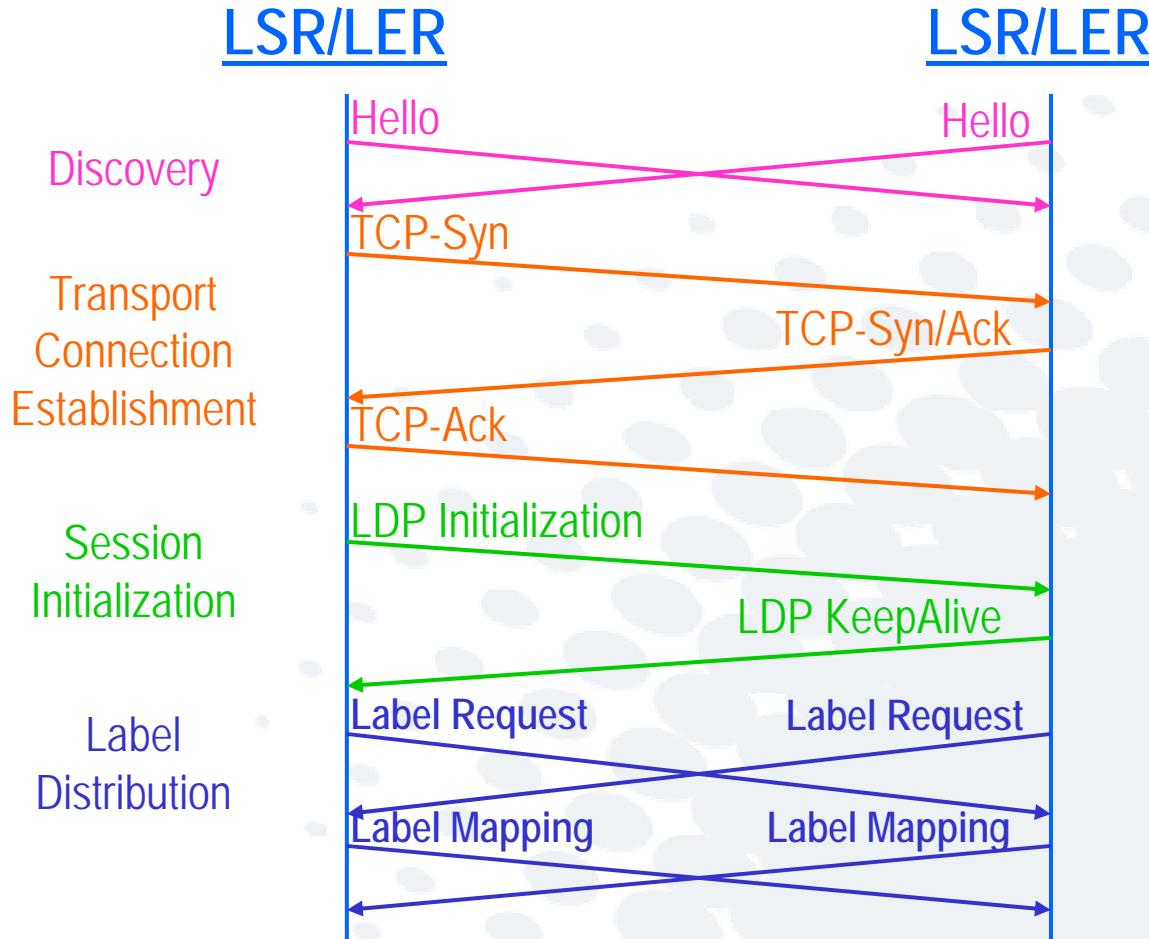


Label Distribution Protocol - LDP

- LDP establece una relación peer-to-peer entre un LER/LSR para Intercambiar información de etiquetado. Hay tres clases de mensajes LDP:
 - **Discovery.** Anuncio de la presencia de un LER/LSR
 - **Adjacency.** Establecimiento, mantenimiento y liberación de adyacencias
 - **Advertisement.** Comunicación de vínculos de etiquetas y actualización de estos
- Las principales características de LDP son:
 - Asignación de etiquetas Hop-by-Hop
 - Sesiones TCP entre LER/LSR
 - No permite señalizar QoS extremo a extremo



Label Distribution Protocol - LDP



Clase de Servicio con LDP

- Establecimiento de diferentes categorías de servicio: Gold, Silver, Best Effort dentro de los LER y LSR
- Los LER mapean de contenido de las etiquetas 802.1p, IP Precedence o ACLs al campo CoS MPLS EXP
- Empleo de las herramientas habituales CoS IP:
 - CAR *Committed Access Rate*
 - WRED *Weighted Random Early Detection*
 - WFQ *Weighted Fair Queueing*
 - CBWFQ *Class Based Weighted Fair Queueing*
 - ...

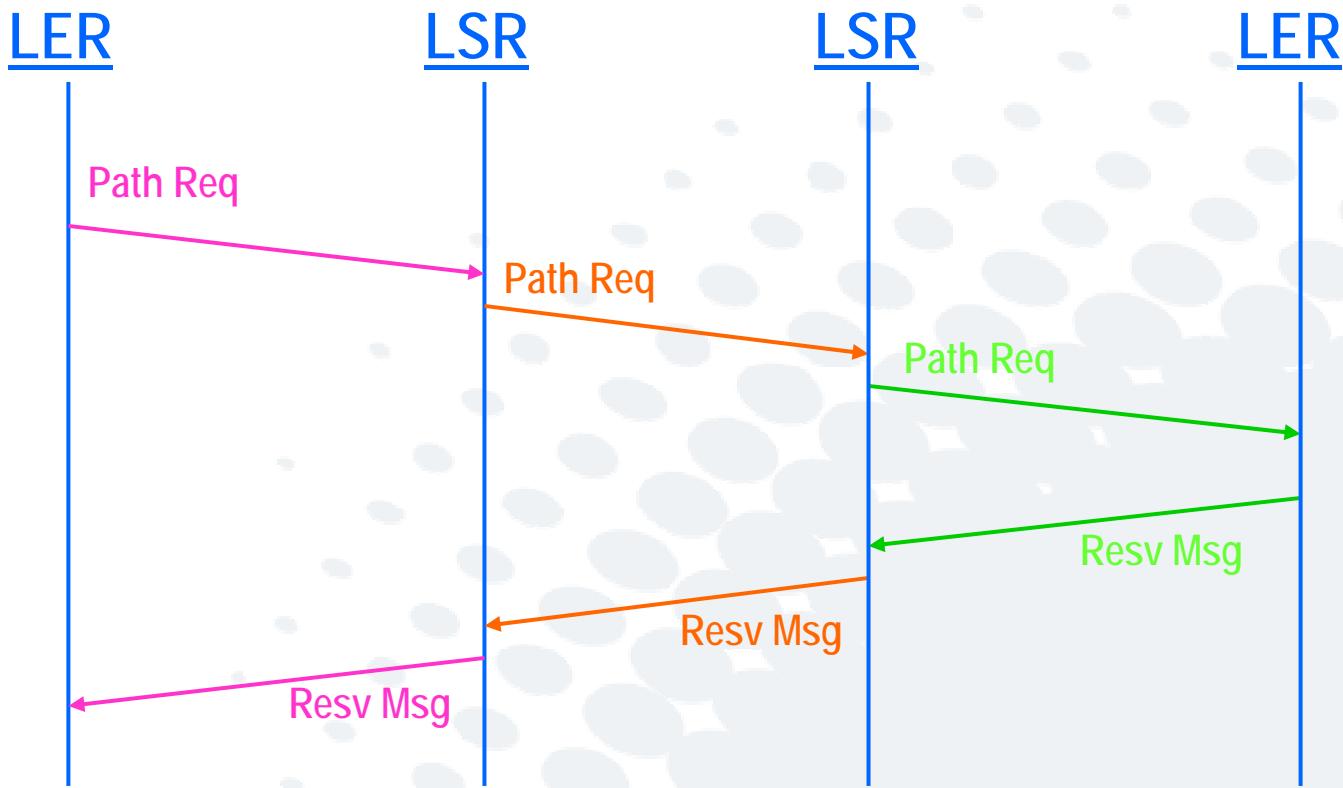


ReSerVation Protocol Traffic Engineering (RSVP-TE)

- RSVP-TE añade extensiones TE a RSVP
- RSVP es un protocolo situado al nivel de IP. Se emplean datagramas IP y UDP en la comunicación entre LSR
- Señalización y distribución de etiquetas extremo a extremo
- Dos mensajes: Path Message, Resv Message
- La señalización de los parámetros de tráfico y QoS está basada en IntServ (per-flow priority)
- RSVP precisa refrescar periódicamente el estado de cada LSP, esta característica es consecuencia de no contar con un sistema de intercambio de mensajes confiable. RSVP no tiene certeza de que los mensajes entre LSR no se estén perdiendo e incluso que un peer LER se haya caído



RSVP-TE

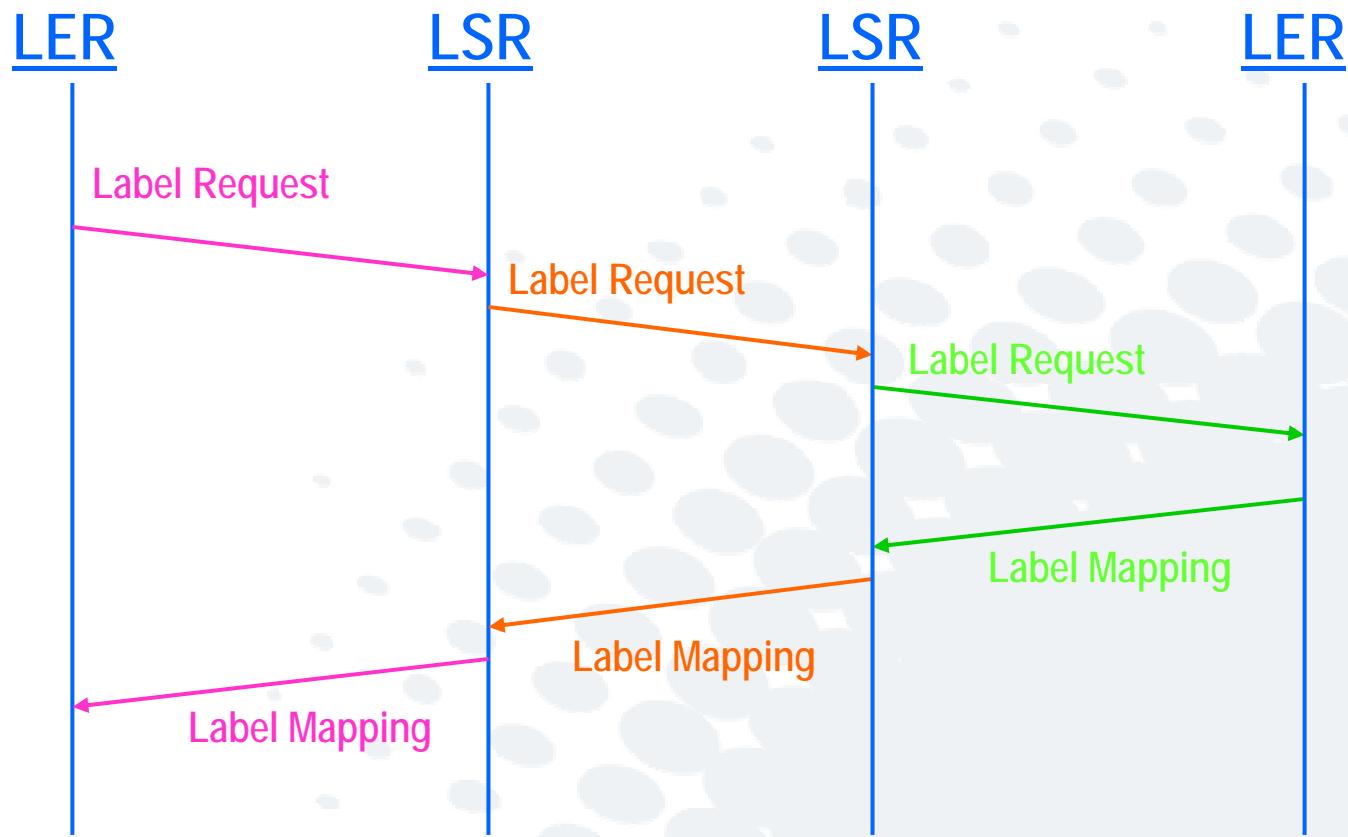


Constraint-based Routed LDP (CR-LDP)

- CR-LDP son un conjunto de extensiones sobre LDP diseñadas para facilitar el constraint-based routing
- Al igual de LDP, en CR-LDP se emplean sesiones TCP entre los LSR
- Señalización y distribución de etiquetas extremo a extremo
- Dos mensajes: Label Request y Label Mapping
- La señalización de los parámetros de tráfico y QoS está basada en DiffServ (per-class priority)

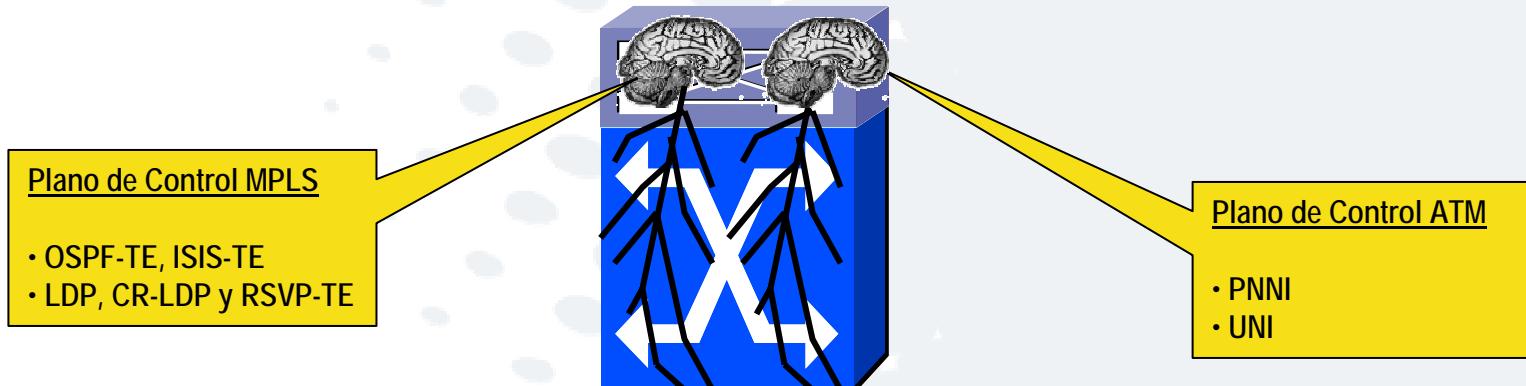


CR-LDP



Ships In the Night

- “Ships In the Night” (SIN) es un modo de operación estandarizado por el IETF que permite a un comutador ATM operar como comutador de etiquetas MPLS
- SIN puede ser considerado como una estrategia de **migración no traumática** desde un backbone IPoATM hacia IP/MPLS
- SIN permite desarrollar **simultáneamente** sobre un backbone con equipamiento común, servicios IP/MPLS y servicios transporte propios de ATM

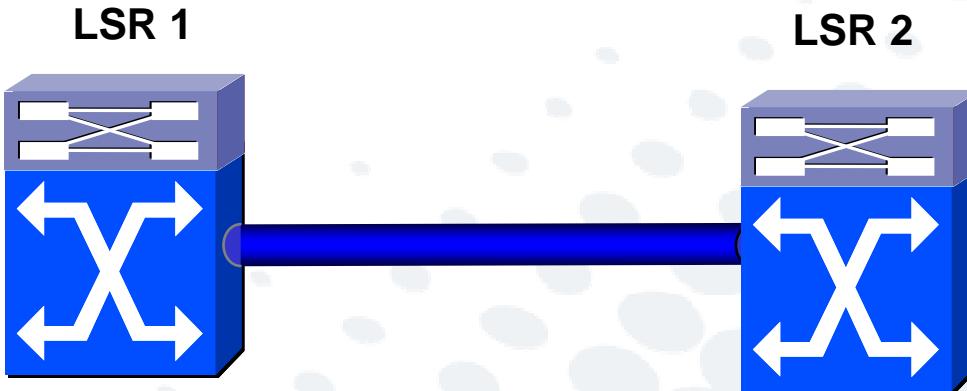


Ships In the Night

- Tres modos de conexión ATM-LSR a ATM-LSR
 - Conexión directa
 - Sobre un PVP
 - Sobre un SVC
- Se mantienen los VCIs 0-31 para señalización ATM, según ITU
- Señalización MPLS en VCI 32 según IETF, donde se transporta:
 - Protocolos de Routing
 - Protocolos de distribución de etiquetas
 - Paquetes IP sin etiquetar
- El aspecto más relevante para el correcto funcionamiento de SIN es que exista buena consistencia en el contenido de la tabla de VCI/VPI empleados por ambos planos de control

Ships In the Night

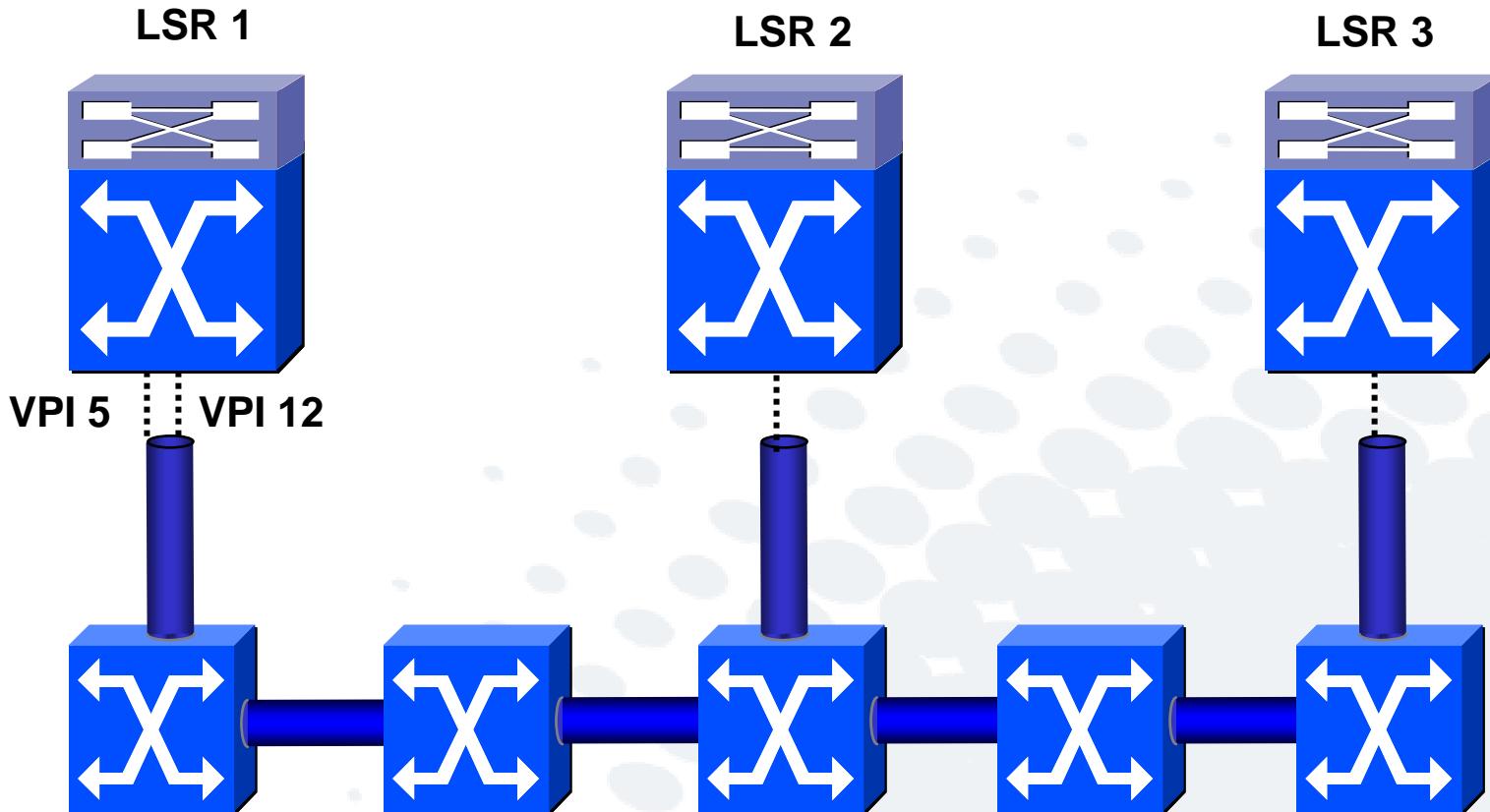
Conexión directa de dos LSR-ATM



- LSR 1 intercambia señalización con LSR 2 en VPI 0 y VCI 32
- Los LSP son establecidos sobre VCIs específicos

Ships In the Night

Conexión PVP a través de un Backbone ATM



- LSR 1 intercambia señalización con LSR 2 en VPI 5 y VCI 32
- LSR 1 intercambia señalización con LSR 3 en VPI 12 y VCI 32
- Los LSP son establecidos sobre VCIs específicos

Agenda

- **Introducción y Conceptos**
 - Orientado/no orientado a la conexión
 - Traffic Engineering
 - Elementos de routing y switching
 - IP
 - IP sobre ATM
- **Funcionamiento de MPLS**
 - Arquitectura
 - Características
 - Perspectiva histórica
 - Label Switching
 - Elementos MPLS: LER y LSR
 - Plano de control y Difusión Topológica
 - Señalización
 - Ships in the Night
- **Servicios VPN MPLS**
 - L2 VPN
 - EoMPLS
 - ATMoMPLS
 - VPLS
 - L3 VPN

Servicios VPN MPLS

- L2VPN: Configuración de circuitos Punto a punto (Paths MPLS) para el transporte transparente de tráfico de nivel 2
- VPLS: Extensión transparente y multisite de las VLANs Ethernet dentro del backbone MPLS
- L3VPN: Desarrollo de VPN de nivel 3 multisite en el backbone MPLS



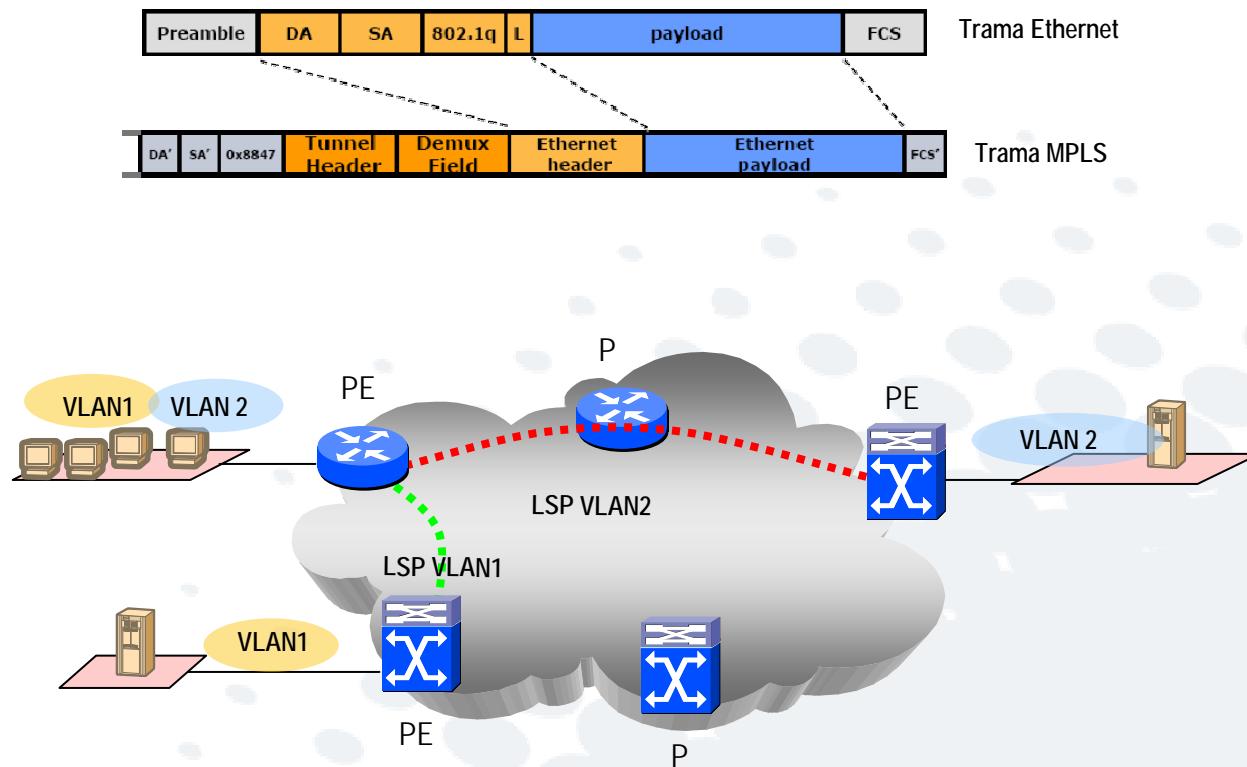
L2VPN – Layer 2 Virtual Private Network

Encapsulación del tráfico de nivel 2 y su posterior transporte a través de una Red MPLS: Any Transport over MPLS (AToM)

- Ethernet over MPLS (EoMPLS)
- ATM AAL5/ATM Cell over MPLS (ATMoMPLS)
- Frame Relay over MPLS (FRoMPLS)
- PPP/HDLC over MPLS

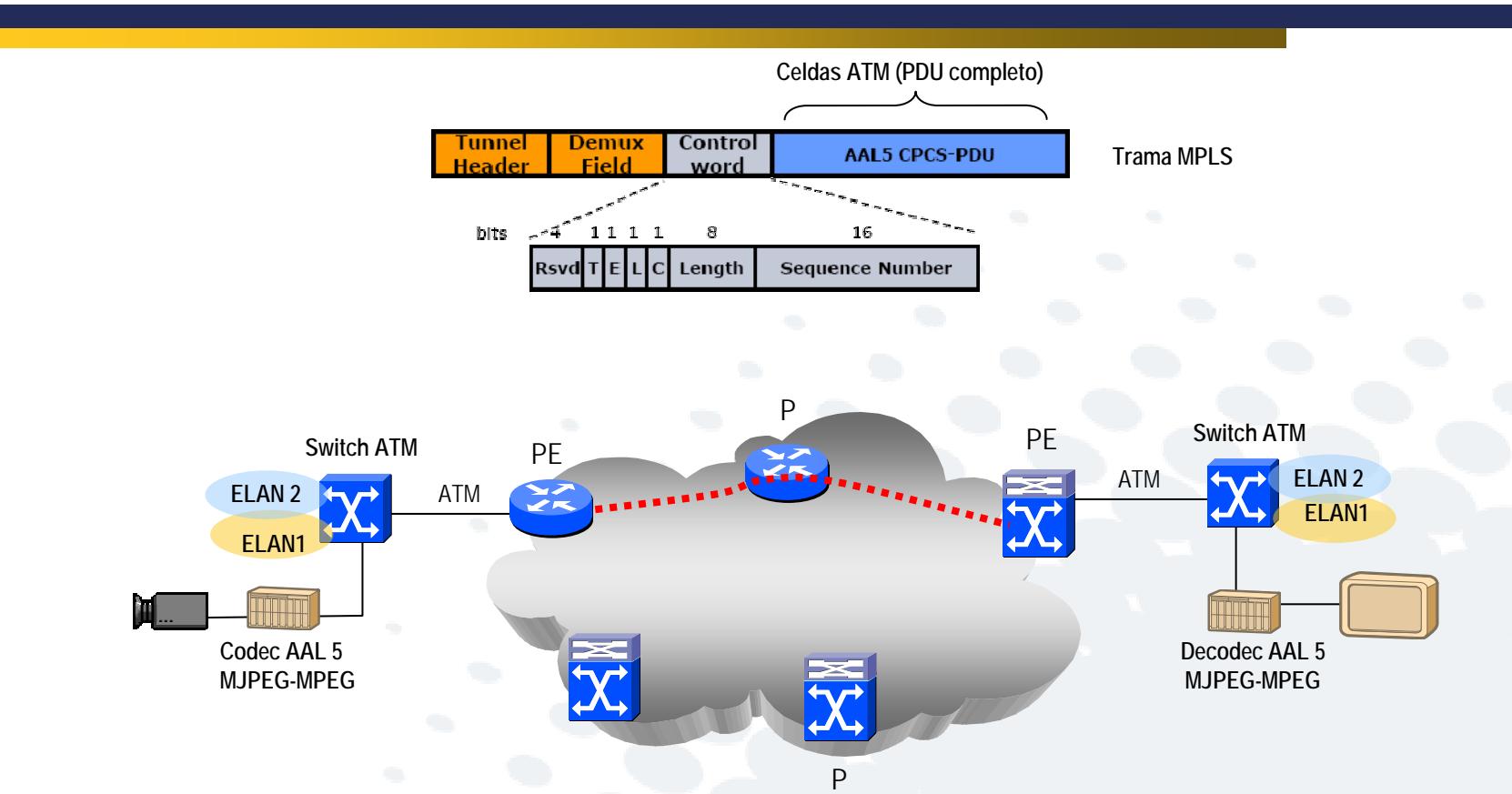


Ethernet over MPLS (EoMPLS)



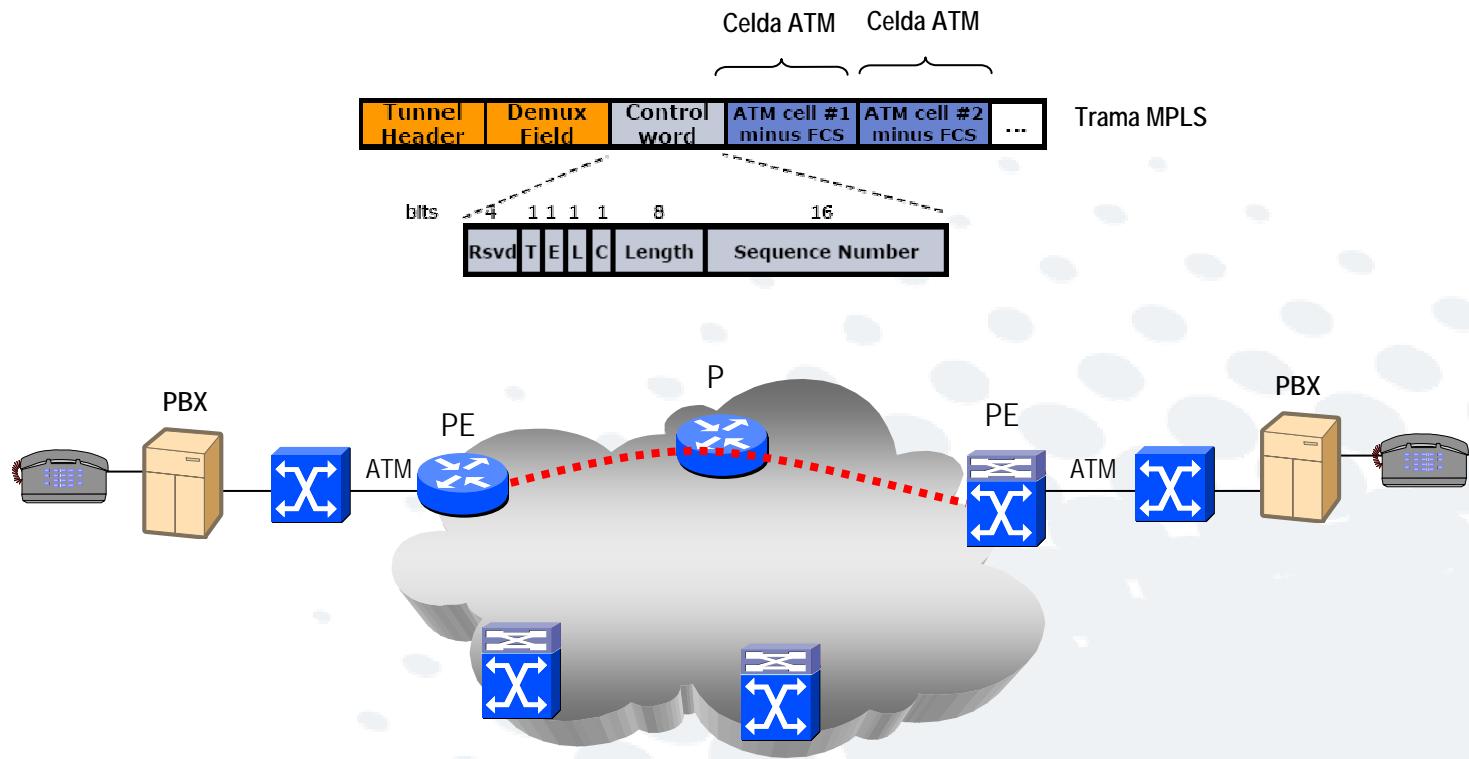
- Se mantiene intacta la información de Nivel 2 (DA, SA y 802.1Q/p)
- El equipamiento PE es sensible a la información 802.1Q para encaminar el tráfico hacia el LSP/destino adecuado

ATM AAL5 over MPLS



- Ensambla las celdas que componen un PDU y lo encapsula en MPLS
- Trabaja a nivel PVC (VPI/VCI), mapeando el tráfico hacia un LSP/destino
- *Control Word* transporta información ATM de CLP y EFCI

ATM Cell Relay over MPLS

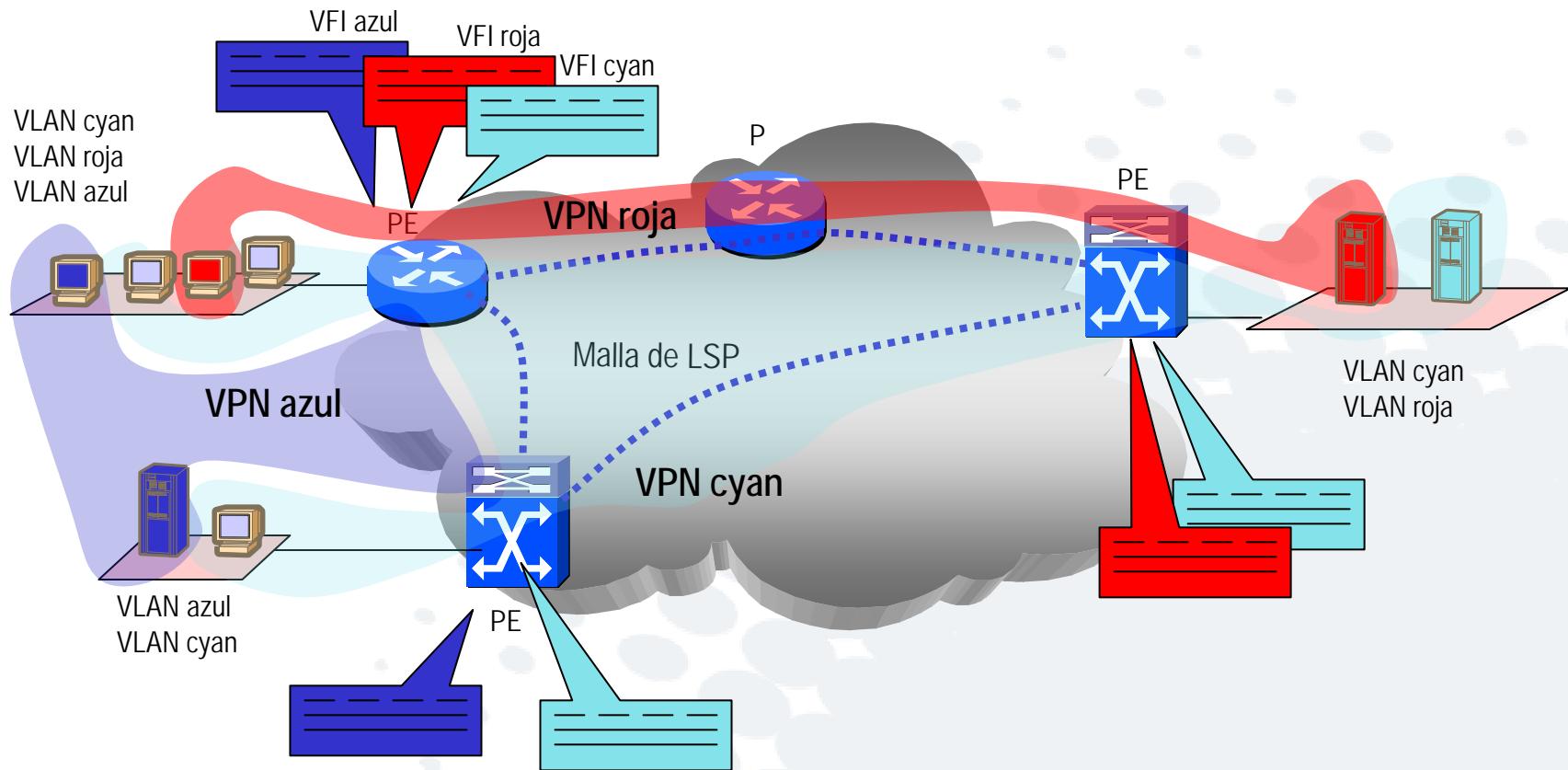


- Encapsula una o más celdas ATM sobre una trama MPLS
- Trabaja a nivel PVC (VPI/VCI), mapeando el tráfico hacia un LSP/destino
- *Control Word* transporta información ATM de CLP y EFCI

VPLS – Virtual Private LAN Service

- VPLS conecta a dos o más localizaciones empleando las técnicas de bridging de EoMPLS
- Desde la perspectiva de los usuarios, VPLS simula el funcionamiento de un conmutador Ethernet donde están conectadas todas las localizaciones
- Virtual Forward: Diferentes instancias o tablas de forward conocidas como VFI en los PE
- VFIs con el mismo identificador o nombre pueden intercambiar sus tablas de direcciones MAC
- La propagación de información de VFI dentro de la Red MPLS se hace a través de una malla de LSP entre PE
- Asociación de un interface físico o lógico a un VFI
- Vinculo de VFIs con VLAN 802.1Q

VPLS – Virtual Private LAN Service

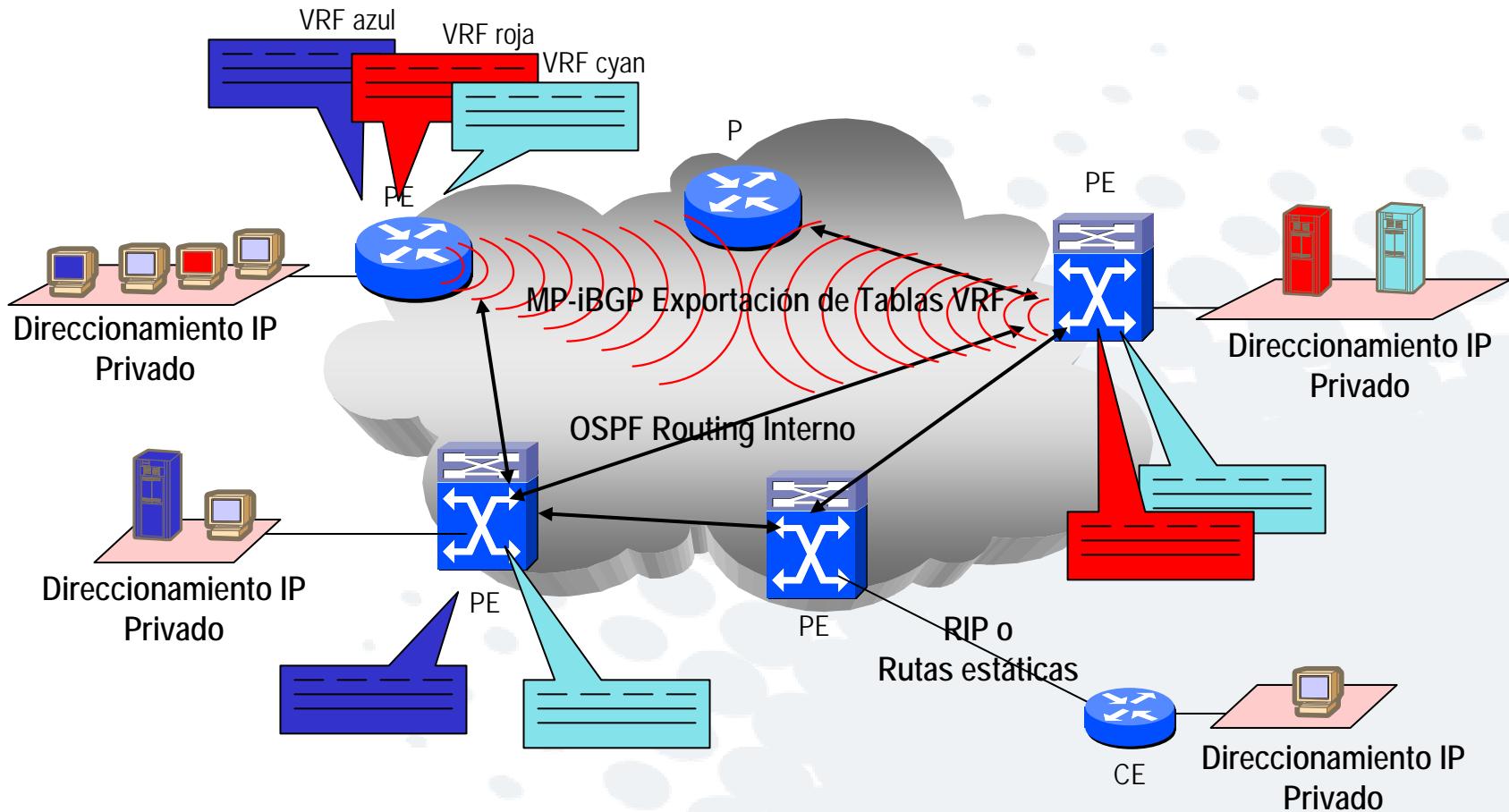


L3VPN – VPNs MPLS de Nivel 3

- RFC 2547bis define un mecanismo que permite el desarrollo de servicios VPN L3 a través de una Red MPLS
- RFC 2547bis es también conocido como VPNs BGP/MPLS porque se emplea BGP para distribuir información de routing VPN a través de MPLS
- Ofrecen un grado de seguridad y privacidad igual que las aproximaciones de nivel 2
- Representan una sólida base para el desarrollo de posteriores servicios IP sobre MPLS: Telefonía, Vídeo bajo demanda y protección de aplicaciones corporativas



Routing VPNs MPLS de L3

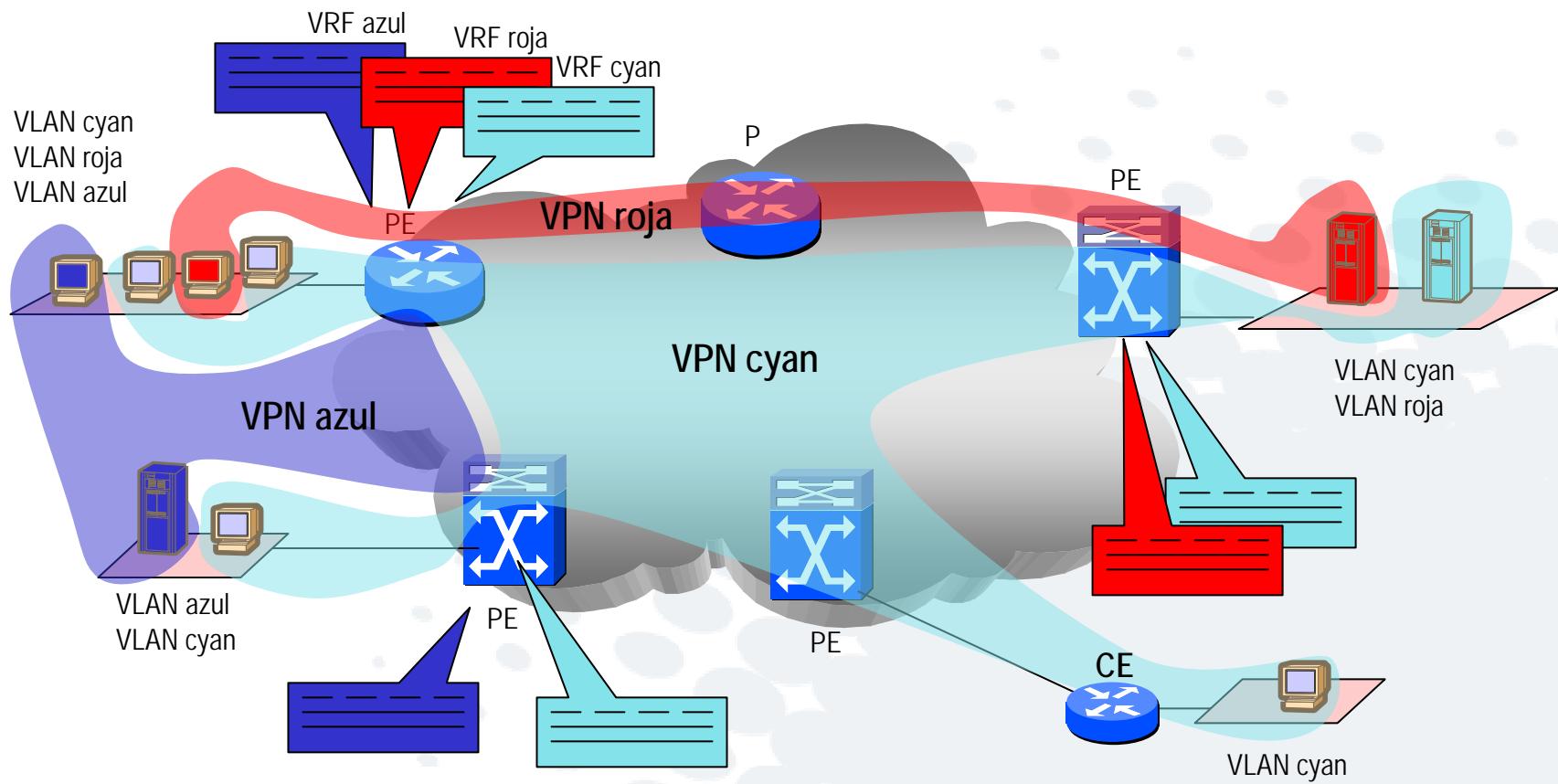


Elementos de las VPNs MPLS de L3

- Virtual Routing: Diferentes instancias o tablas de routing conocidas como VRF en los PE
- VRFs con el mismo identificador o nombre pueden intercambiar sus tablas de rutas
- Propagación de información de VRF con MP-iBGP dentro de la Red MPLS
- Asociación de un interface físico o lógico a un VRF.
- Vinculo de VRFs con VLAN 802.1Q
- A la Red MPLS no le afecta el direccionamiento exterior



Elementos de las VPNs MPLS de L3



Conclusiones

- MPLS añade al routing IP capacidades TE orientadas a recursos. Estos protocolos de routing se establecen como plano de control
- MPLS añade a IP un nivel orientado a la conexión mediante LSP
- IP dispondrá de señalización TE orientada a tráfico (RSVP-TE) o clase de servicio (CR-LDP)
- En MPLS se acelera y simplifica el proceso de Forward
- El proceso de Forward se abstrae de los niveles superiores. Permitiendo desarrollar MPLS en los actuales conmutadores ATM, Frame Relay, Ethernet y por supuesto routers/switches IP
- Permite el desarrollo de Servicios VPN L2/L3 con QoS

Gracias por su Atención

