



MPLS

MPLS – *Multi-Protocol Label Switching*

Ingeniería de tráfico - Curso 2014-15

Área de Ingeniería Telemática - Departamento de Automática

Universidad de Alcalá

José Manuel Giménez

MPLS

2

- ☐ Introducción
- ☐ Encaminamiento de capa 3 convencional vs. MPLS
- ☐ Funcionamiento de MPLS
- ☐ Modos de funcionamiento MPLS
 - ☐ Modos de distribución de etiquetas
 - ☐ Modos de retención de etiquetas
 - ☐ Modos de control LSP
 - ☐ Resumen de modos MPLS y ejemplo
- ☐ Entrada del siguiente salto (NHLFE)
- ☐ Encaminamiento explícito
- ☐ Pila de etiquetas
- ☐ *Penultimate Hop Popping*
- ☐ Bucles en MPLS
- ☐ MPLS sobre ATM
- ☐ Resumen y conclusiones

Introducción: ¿Qué es MPLS?

3

- MPLS: *Multi-Protocol Label Switching*
 - ▣ Conmutación de etiquetas multiprotocolo.
- Método para el reenvío de paquetes a través de la red usando información contenida en etiquetas adjuntas a los paquetes IP.
- Convergencia de dos paradigmas:
 - ▣ Datagramas
 - ▣ Circuitos virtuales
- MPLS introduce una estructura de red orientada a la conexión en redes no conectivas.

Introducción: Beneficios de MPLS

4

- Conmutación es más rápida que encaminamiento.
 - ▣ Propuestas recientes de algoritmos muy eficientes de búsqueda en las tablas en encaminamiento.
- Integración de IP y ATM.
- Facilidad para implementar redes privadas virtuales (VPN).
- Permite dotar de QoS a redes IP.
- Ingeniería de tráfico:
 - ▣ Balanceo de carga en la red
 - Podemos encaminar los paquetes no solo por la ruta de menor coste
 - ▣ Posibilidad de *FastReRouting* (FRR) para reencaminar tráfico evitando puntos de fallo en la red.

Introducción: Antecedentes y origen

5

- Intentar fusionar lo mejor de ATM e IP...
 - ▣ ... y de paso ampliar las posibilidades de Internet.
- Primeros pasos:
 - ▣ *Cell Switching Router* (Toshiba)
 - ▣ *IP Switching scheme* (Ipsilon, comprada por Nokia).
 - ▣ *Tag Switching* (Cisco)
 - ▣ *ARIS: Aggregate Route-Based IP Switching* (IBM)
 - ▣ *IP Navigator* (Lucent)
- En 1997 se creó en IETF el grupo de trabajo MPLS.
- MPLS es ahora un estándar (en múltiples RFCs).

Introducción: Estándares

6

- RFC3031: MPLS Architecture (2001).
- RFC3032: MPLS Label Stack Encoding (2001).
- RFC3034: Use of Label Switching on Frame Relay Networks Specification (2001).
- RFC3035: MPLS Using LDP and ATM VC Switching (2001).
- RFC3037: LDP Applicability (2001).
- RFC3107: Carrying Label Info in BGP-4 (2001).
- RFC3270: MPLS Support of Differentiated Services (2002).
- RFC5036: LDP Specification (2007).
- RFC6790: The Use of Entropy Labels in MPLS Forwarding (2012).
- RFC7387: A Framework for Ethernet Tree (E-Tree) Service over a Multiprotocol Label Switching (MPLS) Network (2014).
- ...

Encaminamiento de capa 3 convencional vs. MPLS

7

- Encaminamiento capa 3 convencional:
 - ▣ Basado en el intercambio de información de alcanzabilidad.
 - ▣ Se extrae toda la información necesaria de la cabecera de capa 3:
 - Dirección IP destino.
 - ¿ToS/DSCP?
 - ▣ El análisis completo de la cabecera de capa 3 se hace salto a salto → En todos los routers.
- FEC: *Forwarding Equivalency Class*:
 - ▣ Conjunto de paquetes de capa 3 que se reenvían de la misma manera sobre el mismo camino con el mismo tratamiento de reenvío.

Encaminamiento de capa 3 convencional vs. MPLS

8

- Encaminamiento capa 3 convencional:
 - ▣ En encaminamiento convencional cada *router* toma una decisión independiente para cada paquete basándose en:
 - Análisis de su cabecera.
 - El resultado de la ejecución de un algoritmo de encaminamiento.
 - ▣ Esa decisión resulta en:
 - La asignación de ese paquete a un FEC (basándose en algoritmo “*longest-match*”)
 - Reenvío al siguiente salto.
 - ▣ Conforme el paquete atraviesa la red, CADA *router* examina el paquete y lo asigna a un FEC.

Encaminamiento de capa 3 convencional vs. MPLS

9

□ MPLS:

- ▣ Se asignan etiquetas de longitud fija a los paquetes.
- ▣ Los conmutadores solo emplean estas etiquetas para reenviar.
- ▣ La etiqueta resume toda la información esencial:
 - Destino, prioridad, membresía a una VPN, información de QoS, ruta de acuerdo a la ingeniería de tráfico.
- ▣ En la entrada a la red de conmutación de etiquetas la cabecera de capa 3 se mapea en una etiqueta.
 - El análisis completo de la cabecera de capa 3 solo se hace una vez.
- ▣ A la salida de la red de conmutación de etiquetas se elimina la etiqueta.

Encaminamiento de capa 3 convencional vs. MPLS

10

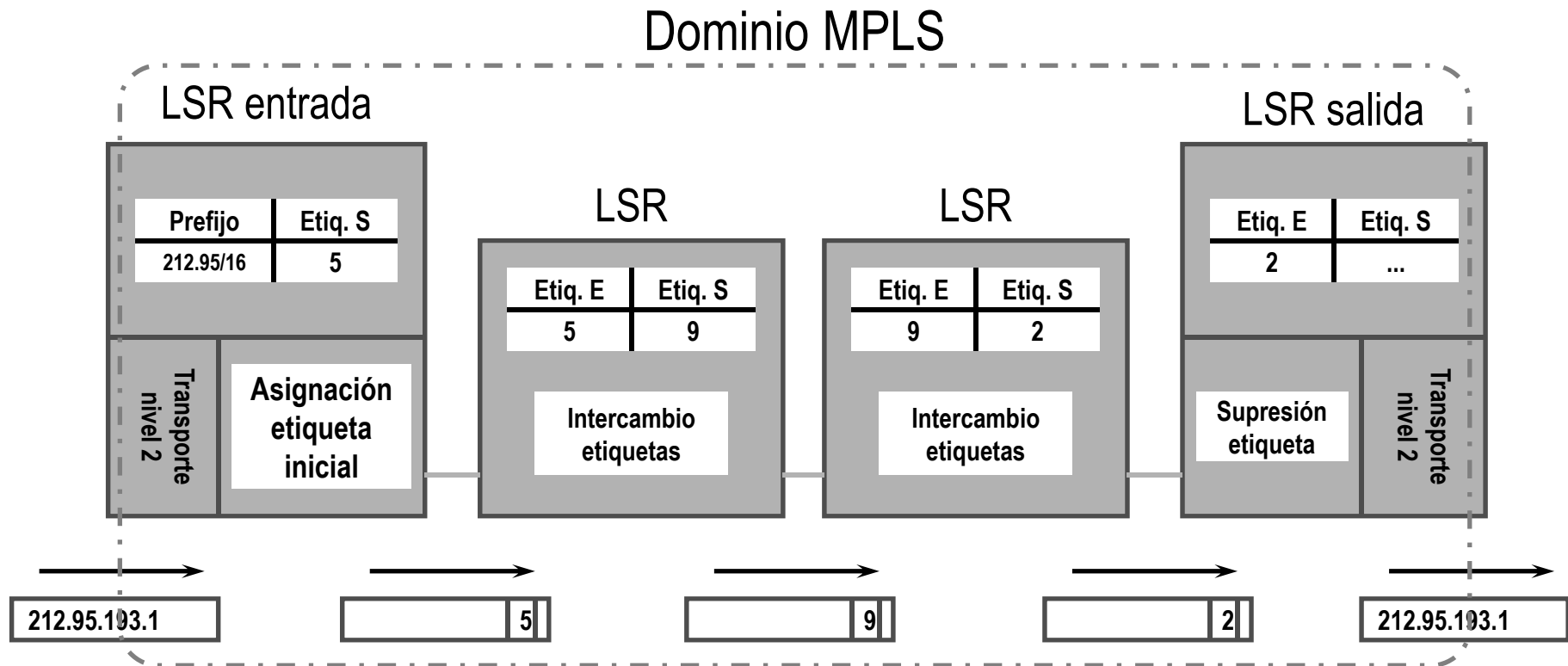
□ MPLS:

- ▣ La asignación de un paquete a un FEC se hace SOLO una vez: cuando el paquete entra a la red de conmutación de etiquetas.
- ▣ El FEC se codifica mediante un valor de tamaño fijo → ETIQUETA.
- ▣ Dicha etiqueta se usa como **índice** de una tabla que indica:
 - Cuál es el siguiente salto del paquete.
 - Cuál es el valor de la nueva etiqueta
 - Se sustituye el valor de la etiqueta por el nuevo.

Encaminamiento de capa 3 convencional vs. MPLS

11

□ MPLS:



Encaminamiento de capa 3 convencional vs. MPLS

12

□ Ventajas del encaminamiento de MPLS:

- MPLS puede ser realizado por conmutadores.
- Los conmutadores ATM pueden realizar esta tarea, puesto que conmutan en función del valor de VPI/VCI (*Virtual Path/Channel Identifier*):
 - Colocar la etiqueta en los campos VPI/VCI de la cabecera ATM → Integración de IP con ATM usando MPLS.
- La asignación de un paquete a un FEC se hace solo una vez, a la entrada.
- Se puede forzar a un paquete a seguir una ruta incluso antes de entrar a la red.
 - En el encaminamiento convencional esto no es posible, se hace de forma dinámica conforme el paquete está en la red.
 - Es la base de la ingeniería de tráfico con MPLS.

Encaminamiento de capa 3 convencional vs. MPLS

13

□ Ventajas del encaminamiento de MPLS:

- ▣ Un *router* MPLS puede asignar paquetes con el mismo destino a diferentes FEC en función del puerto de entrada.
 - Se pueden tomar decisiones de reenvío que dependen del punto de entrada a la red.
 - Esto no es posible en el encaminamiento convencional, ya que solo utilizan información de la cabecera de capa 3.
 - Es la base para la formación de VPNs.
- ▣ Se puede seleccionar una clase de servicio por parte del nodo MPLS de entrada.
 - La etiqueta representa la combinación de un FEC y una clase de servicio.
 - Es la base para la QoS en MPLS.

Funcionamiento de MPLS

14

MPLS es una forma de encapsular tráfico de cualquier protocolo de capa de red (ej. IP) y dirigir dichos paquetes a través de un determinado camino hasta su destino basándose en una técnica de conmutación de etiquetas

Funcionamiento de MPLS: uso de etiquetas

15

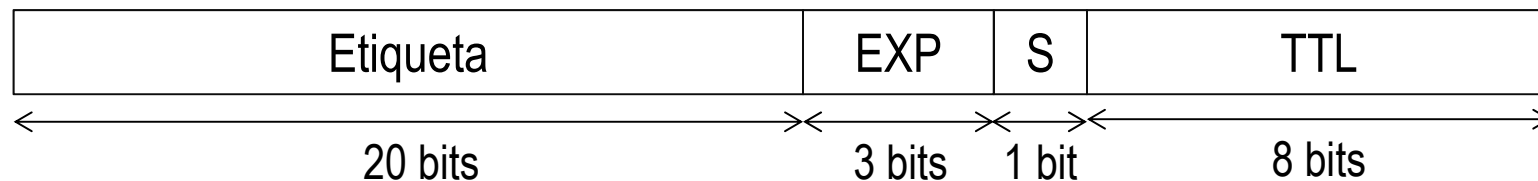
- La idea original era que funcionara con diferentes protocolos de capa de red (IP, IPX, AppleTalk...)
 - ▣ En realidad, solo se usa con IP.
- ¿Dónde ponemos la etiqueta?
 - ▣ En IPv6 → Campo “*flow label*”.
 - ▣ Si se usa sobre ATM → Campo VPI/VCI.
 - ▣ Si se usa sobre *Frame Relay* → Campo DLCI.
 - ▣ Sin embargo, si se usa para IPv4 y sobre *Ethernet*, *token ring* o conexiones punto a punto (p.ej. PPP) → No hay lugar para la etiqueta
 - Se inserta entre las cabeceras de capa 2 y 3 (*shim header*):

Cabecera capa 2	Etiqueta	Cabecera IP	Cabecera transporte	Datos
-----------------	-----------------	-------------	---------------------	-------

Funcionamiento de MPLS: formato de la etiqueta

16

- La etiqueta (32 bits, 4 octetos) se compone de:
 - ▣ 20 bits: valor de la etiqueta.
 - ▣ 3 bits: EXP, valor experimental.
 - Por ej. para transportar la clase de servicio (CoS).
 - ▣ 1 bit: S, para indicar que se usa un pila de etiquetas.
 - ▣ 8 bits: TTL, *time-to-live*.
 - Similar al TTL de IP.



- Cuando se usa ATM (la etiqueta en VPI/VCI), no se soportan los campos EXP, S y TTL.

Funcionamiento de MPLS

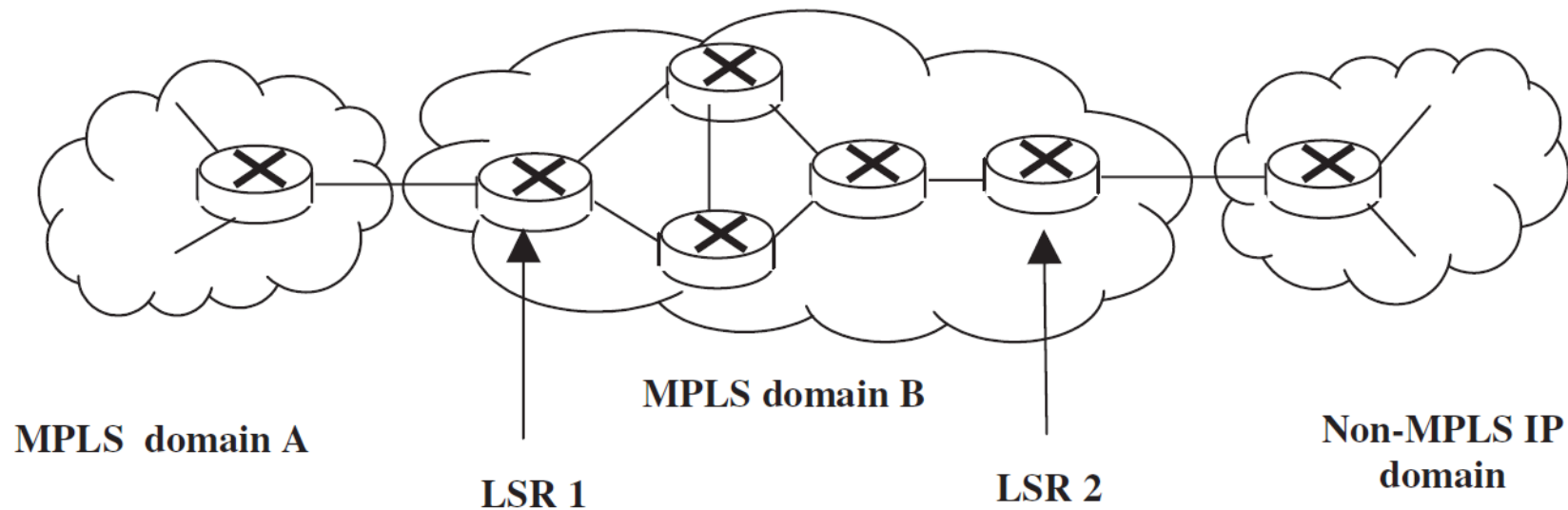
17

- Una red MPLS está compuesta de:
 - ▣ LSR, *Label Switching Routers*.
 - Router IP que soporta MPLS.
 - Puede:
 - Enlazar etiquetas a FECs.
 - Reenviar paquetes IP en función de su etiqueta.
 - Encaminar paquetes IP sin etiqueta (encaminamiento IP convencional).
 - ▣ Nodos MPLS:
 - Es un LSR excepto que no es necesario que sea capaz de encaminar paquetes IP sin etiqueta.

Funcionamiento de MPLS

18

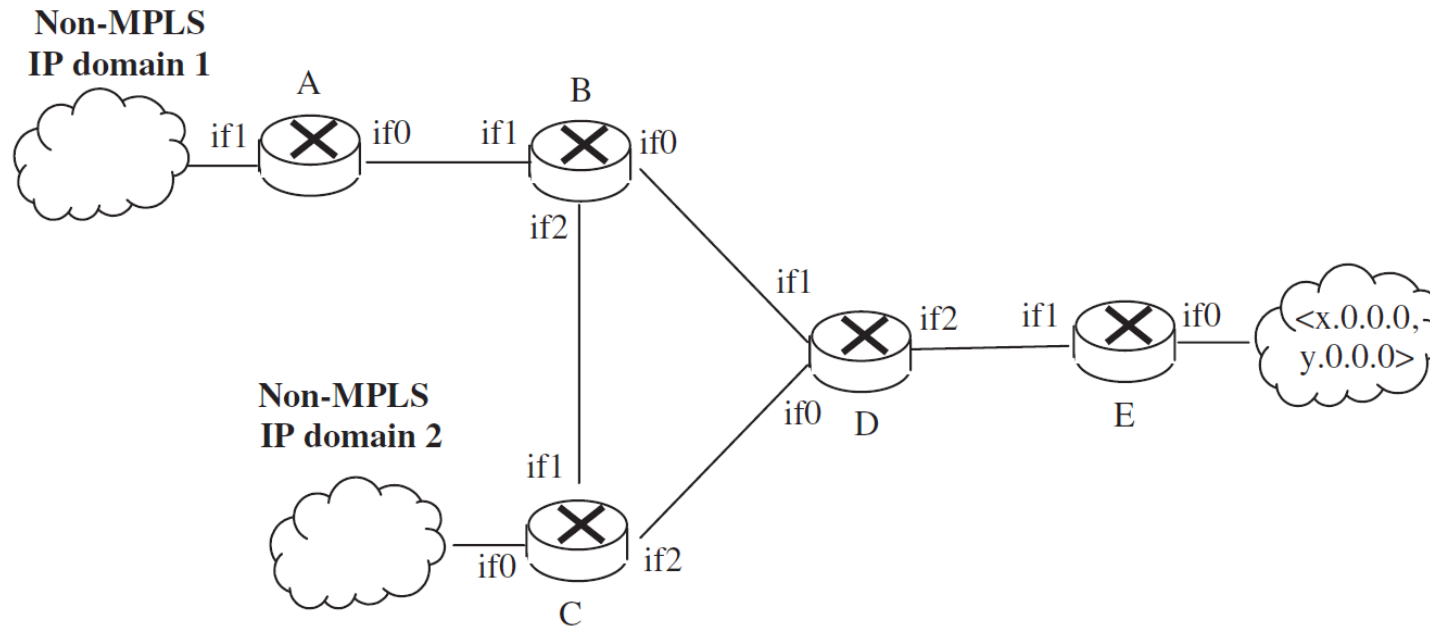
- Dominio MPLS: conjunto de nodos MPLS contiguos en el mismo dominio administrativo o de encaminamiento.



- A LSR1 y LSR2 se les llama nodos MPLS frontera.

Funcionamiento de MPLS: ejemplo

19



- 5 LSRs (A, B, C, D y E) unidos por conexiones punto a punto.
- Conectado a E hay un conjunto de hosts con dirección $x.0.0.0$ y máscara $y.0.0.0$.
- Los paquetes de A a E van vía B y D.
 - ▣ Para este prefijo: el siguiente salto en A es B, en B es D y en D es E.
- Los paquetes de C a E van vía D.
 - ▣ Para este prefijo: el siguiente salto en C es D y en D es E.

Funcionamiento de MPLS: ejemplo

20

- Cuando un LSR identifica el FEC asociado al prefijo <x.0.0.0, y.0.0.0>, selecciona una etiqueta de un conjunto de etiquetas disponibles e incluye una entrada en la tabla LFIB (*Label Forward Information Base*).
- LFIB contiene para cada FEC:
 - ▣ Etiqueta de entrada.
 - ▣ Etiqueta de salida.
 - ▣ Interfaz de salida/siguiente salto.
 - ▣ Ejemplo:

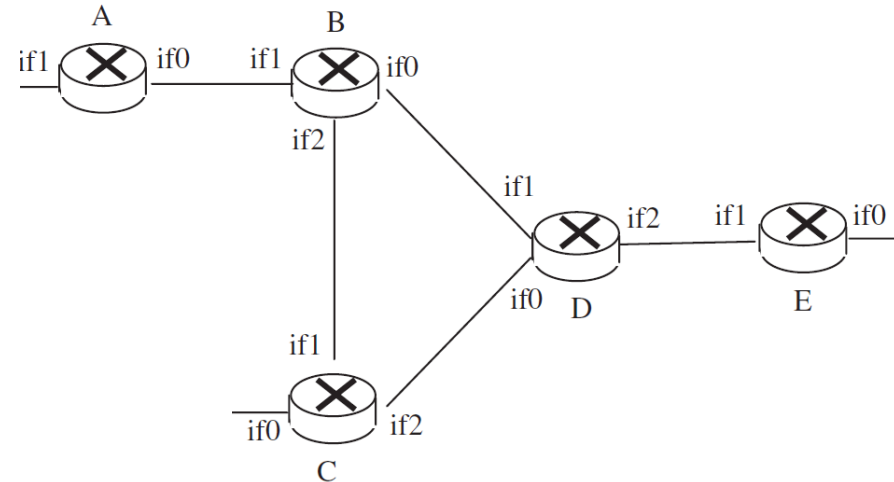
Etiqueta de entrada	Etiqueta de salida	Siguiente salto	Interfaz de salida
62	15	LSR D	if0

Funcionamiento de MPLS: ejemplo

21

- Si mostramos todas la entradas de ese FEC en todos los LSRs:

LSR	Etiqueta entrada	Etiqueta salida	Siguiente salto	Interfaz salida
A	-	-	LSR B	if0
B	62	-	LSR D	if0
C	-	-	LSR D	if2
D	15	-	LSR E	if2
E	60	-	LSR E	if0

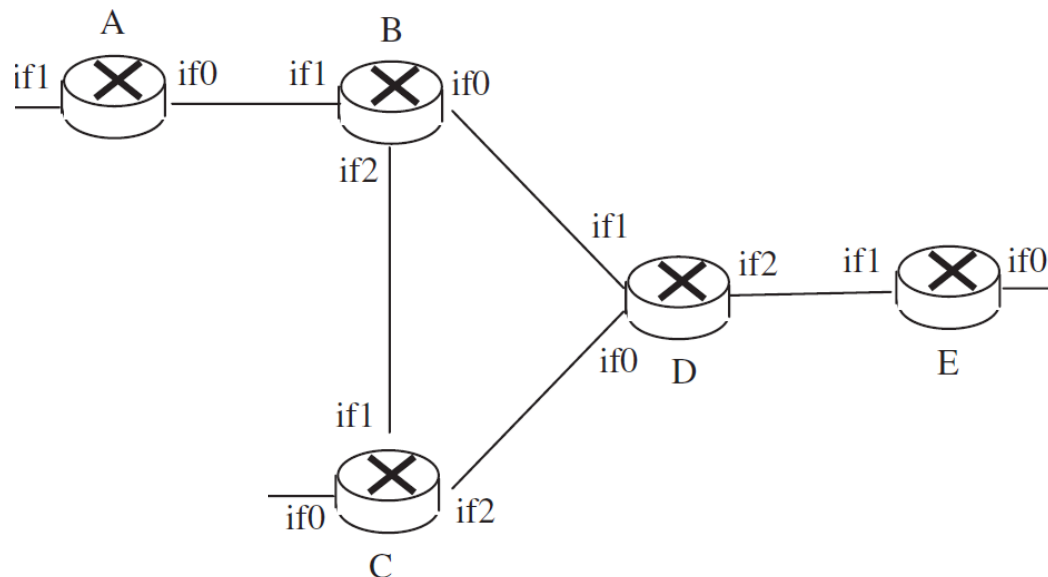


- B ha seleccionado como etiqueta de entrada 62, D 15 y E 60.
- Como A y C son *routers* frontera y no esperan recibir paquetes etiquetados, no han seleccionado ninguna etiqueta de entrada.
- Etiqueta de entrada: etiqueta que un nodo espera encontrar en todos los paquetes IP entrantes de un determinado FEC.
 - Por ej.: B espera encontrar la etiqueta 62 en todos los paquetes IP que pertenecen al FEC asociado al prefijo <x.0.0.0, y.0.0.0>.

Funcionamiento de MPLS: ejemplo

22

- El etiquetado de los paquetes debe realizarse por los nodos que son “*upstream*” a un nodo dado.
 - ▣ “*Upstream*” en relación al flujo de paquetes IP asociados al FEC.
 - ▣ Por ej.: A debe etiquetar con el valor 62 los paquetes del FEC bajo estudio que vayan a B.
 - ▣ En el caso de D, este etiquetado deben hacerlo B y C, ya que son los dos “*upstream*”.



Funcionamiento de MPLS: ejemplo

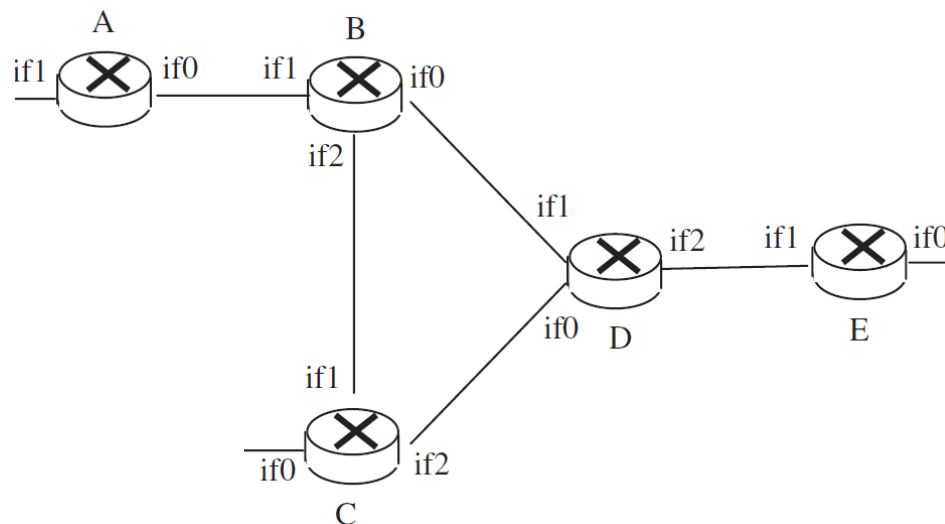
23

- Para que un nodo reciba los paquetes etiquetados con el valor que él mismo ha seleccionado debe notificar a sus vecinos acerca de la etiqueta escogida para un determinado FEC.
- Si al recibir esa información un nodo:
 - ▣ Es *upstream* de ese FEC → Actualiza la etiqueta de salida para ese FEC.
 - ▣ Si NO es *upstream* de ese FEC → Puede descartar la información o almacenarla por si se necesita en el futuro (por ej. por si cae un enlace).

Funcionamiento de MPLS: ejemplo

24

- B envía la información a A, C y D.
 - ▣ A reconoce que es *upstream* de ese FEC → Actualiza su LFIB.
 - ▣ C y D pueden descartar la información o guardarla para un posible uso futuro:
 - Si cae el enlace C-D, C usará la etiqueta anunciada por B para enviar el tráfico.
- D envía la información a B, C y E.
 - ▣ B y C actualizan su LFIB.
- E envía la información a D, la cual actualiza su LFIB.
- Para E, el siguiente salto es él mismo, por lo que no usará etiqueta de salida.

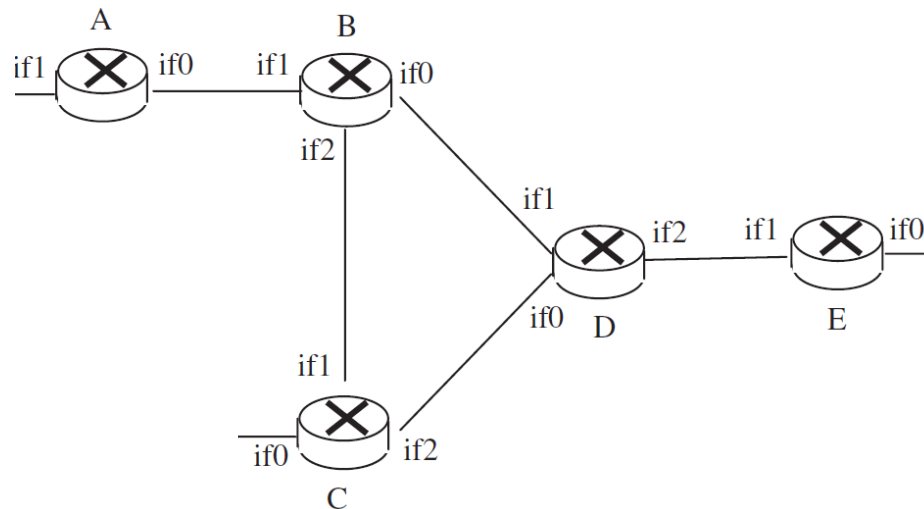


Funcionamiento de MPLS: ejemplo

25

□ Las LFIB quedarían así:

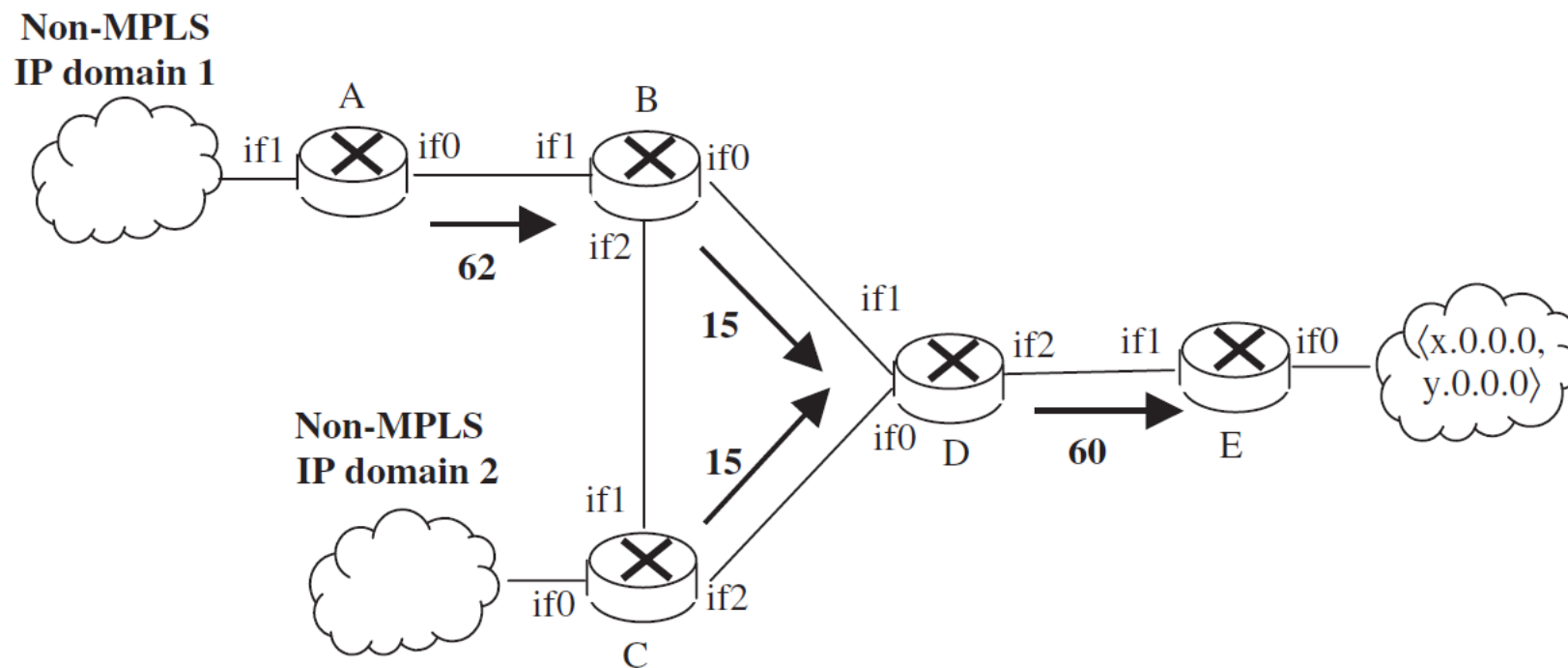
LSR	Etiqueta entrada	Etiqueta salida	Siguiente salto	Interfaz salida
A	-	62	LSR B	if0
B	62	15	LSR D	if0
C	-	15	LSR D	if2
D	15	60	LSR E	if2
E	60	-	LSR E	if0



Funcionamiento de MPLS: ejemplo

26

□ Funcionamiento:



Funcionamiento de MPLS: conclusiones

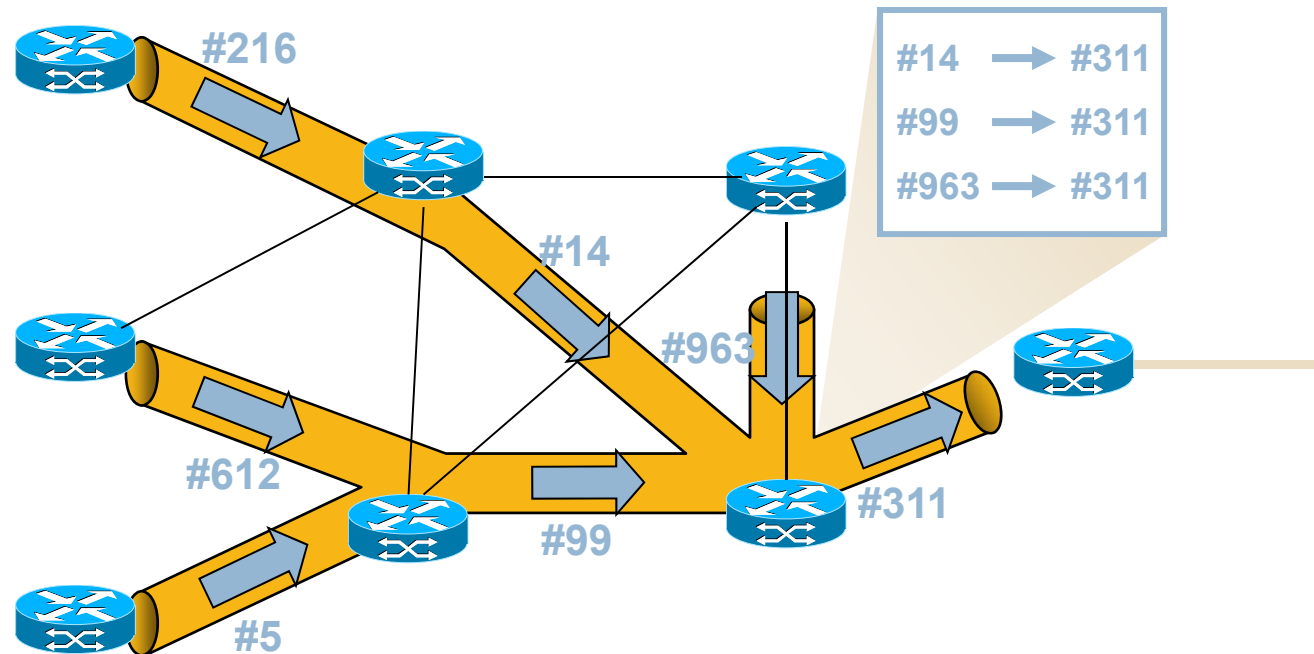
27

- Una vez se han distribuido las etiquetas y se han actualizado las LFIB, el reenvío de paquetes se hace usando SOLO su etiqueta de entrada.
- Las etiquetas tienen un significado LOCAL.
- La secuencia de etiquetas que definen un camino → LSP (*Label Switched Path*).
- Cada LSP tiene:
 - ▣ Nodo frontera de entrada.
 - ▣ Nodo frontera de salida.

Funcionamiento de MPLS: conclusiones

28

- Los LSP son unidireccionales.
 - ▣ Puede seguir un camino diferente para el retorno.
- Muchas veces, varios LSPs se asocian al mismo FEC, formando un árbol.
 - ▣ Son los LSPs acoplados (*merging*).
- Ejemplo de LSPs acoplados:



Funcionamiento de MPLS: conclusiones

29

- La conmutación de etiquetas elimina la necesidad de la gran carga computacional que requiere la búsqueda del siguiente salto en IP.
 - ▣ Las tablas LFIB son considerablemente menores.
 - ▣ Se han propuesto algoritmos muy eficientes para IP...
 - ▣ ... pero no disminuye el interés de MPLS por el resto de sus beneficios, por ej. QoS:
 - Usamos el campo EXP para asignar una prioridad a cada paquete IP.
 - Los LSR sirven los paquetes de acuerdo a su prioridad, encolándose los paquetes en las interfaces de salida de acuerdo a su prioridad.

Modos de distribución de etiquetas

30

□ Hasta ahora hemos visto:

- Nodo MPLS asocia una etiqueta con un FEC y almacena esa información como etiqueta de entrada en su LFIB.
- Ese nodo anuncia dicha asociación a sus nodos vecinos:
 - Si le llega la información a un nodo *upstream* (respecto al flujo), dicho nodo almacena la asociación como etiqueta de salida para ese FEC.
 - Si le llega pero no es *upstream*, puede ignorar la asociación o guardarla por si la necesita en el futuro.
- Puesto que:
 - La etiqueta la crea el nodo *downstream* (respecto al flujo).
 - La etiqueta escogida se anuncia sin que los vecinos lo soliciten.
 - Este esquema se llama: *Unsolicited Downstream Scheme* (UD).

Modos de distribución de etiquetas

31

- Otro modo de asignar etiquetas es el llamado *Downstream On Demand* (DoD):
 - ▣ Nodo MPLS asocia una etiqueta con un FEC y almacena esa información como etiqueta de entrada en su LFIB.
 - ▣ Pero ahora no anuncia dicha asociación a los vecinos, sino que los vecinos preguntan al nodo acerca de dicha asociación.

Modos de retención de etiquetas

32

- Cuando un nodo recibe una etiqueta y no es *upstream* de ese flujo:
 - ▣ Modo de retención de etiqueta conservador CLR (*conservative label retention mode*) → Ignora la asociación recibida.
 - ▣ Modo de retención de etiqueta liberal LLR (*liberal label retention mode*) → Almacena dicha asociación recibida.
- LLR permite mejor adaptación a los cambios en rutas en la red.
- CLR mantiene las tablas LFIB más pequeñas.

Modos de control LSP

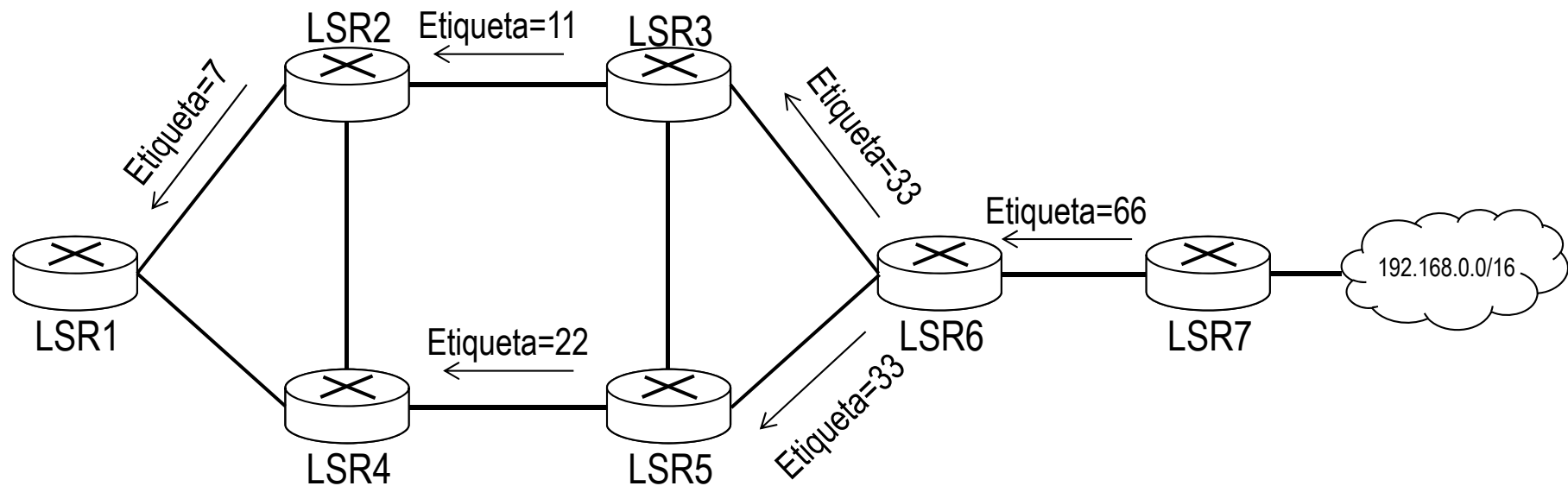
33

- Existen dos procedimientos para establecer un LSP:
 - ▣ Control de LSP independiente:
 - El que se ha visto hasta el momento.
 - Cuando un LSR detecta un nuevo FEC le asocia una etiqueta de entrada y la comunica a sus nodos vecinos.
 - ▣ Control de LSP ordenado:
 - La asignación de etiquetas se hace de manera ordenada e iniciada y controlada desde el nodo frontera de salida.
 - Un LSR solo crea una asociación local FEC-etiqueta para un determinado FEC en uno de los siguientes casos:
 - Si es el nodo frontera de salida para ese FEC.
 - Si ha recibido una asociación de etiqueta del siguiente salto de ese FEC.
 - El LSR que lo inicia selecciona el FEC y todos los LSRs del LSP usarán los mismos FECs.
 - Requiere que las asociaciones de etiquetas se propaguen sobre todos los LSRs antes de que pueda establecerse un LSP.

Modos de control LSP

34

□ Ejemplo de control de LSP ordenado:



Modos de control LSP

35

- Ambos tipos de control pueden coexistir en la misma red sin ningún tipo de problema de interoperabilidad.
- Comparativa:
 - ▣ El control independiente converge más rápidamente y, por tanto, se generan antes los LSPs.
 - ▣ Una desventaja del control independiente es que algunos LSRs pueden empezar a conmutar paquetes antes de que el LSP esté establecido extremo a extremo, pudiendo haber problemas (reenvío erróneo e incluso descarte).
 - ▣ El control ordenado provee mejores capacidades de prevención de bucles.

Resumen de modos MPLS

36

- Asignación de etiquetas:
 - ▣ *Downstream on demand* (DoD).
 - ▣ *Unsolicited downstream* (UD).
- Modo de retención de etiquetas:
 - ▣ Conservador (CLR).
 - ▣ Liberal (LLR).
- Control de LSP:
 - ▣ Ordenado.
 - ▣ Independiente.
- Cisco IOS emplea:
 - ▣ Para ATM: DoD, CLR y control ordenado.
 - ▣ Para el resto: UD, LLR y control independiente.