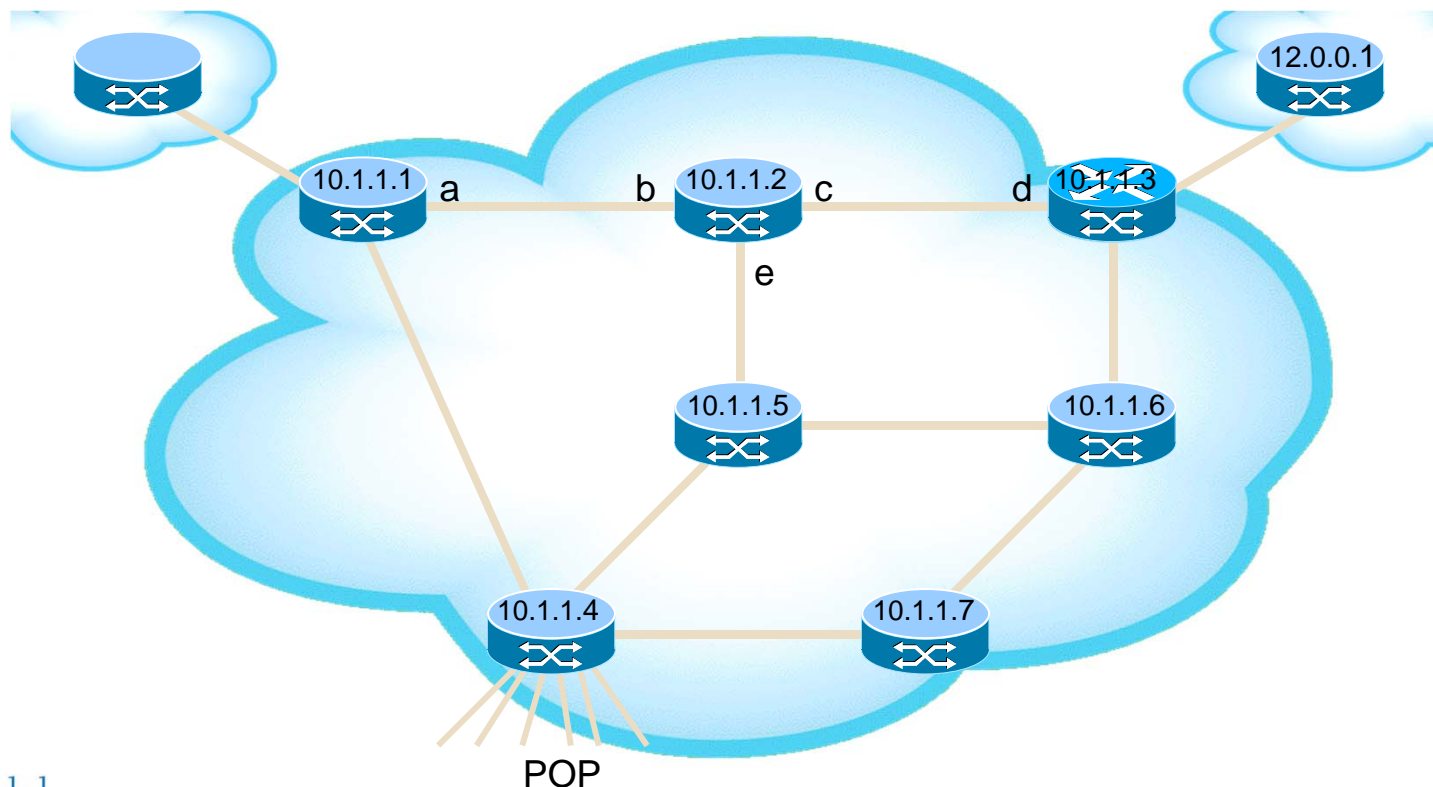


Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

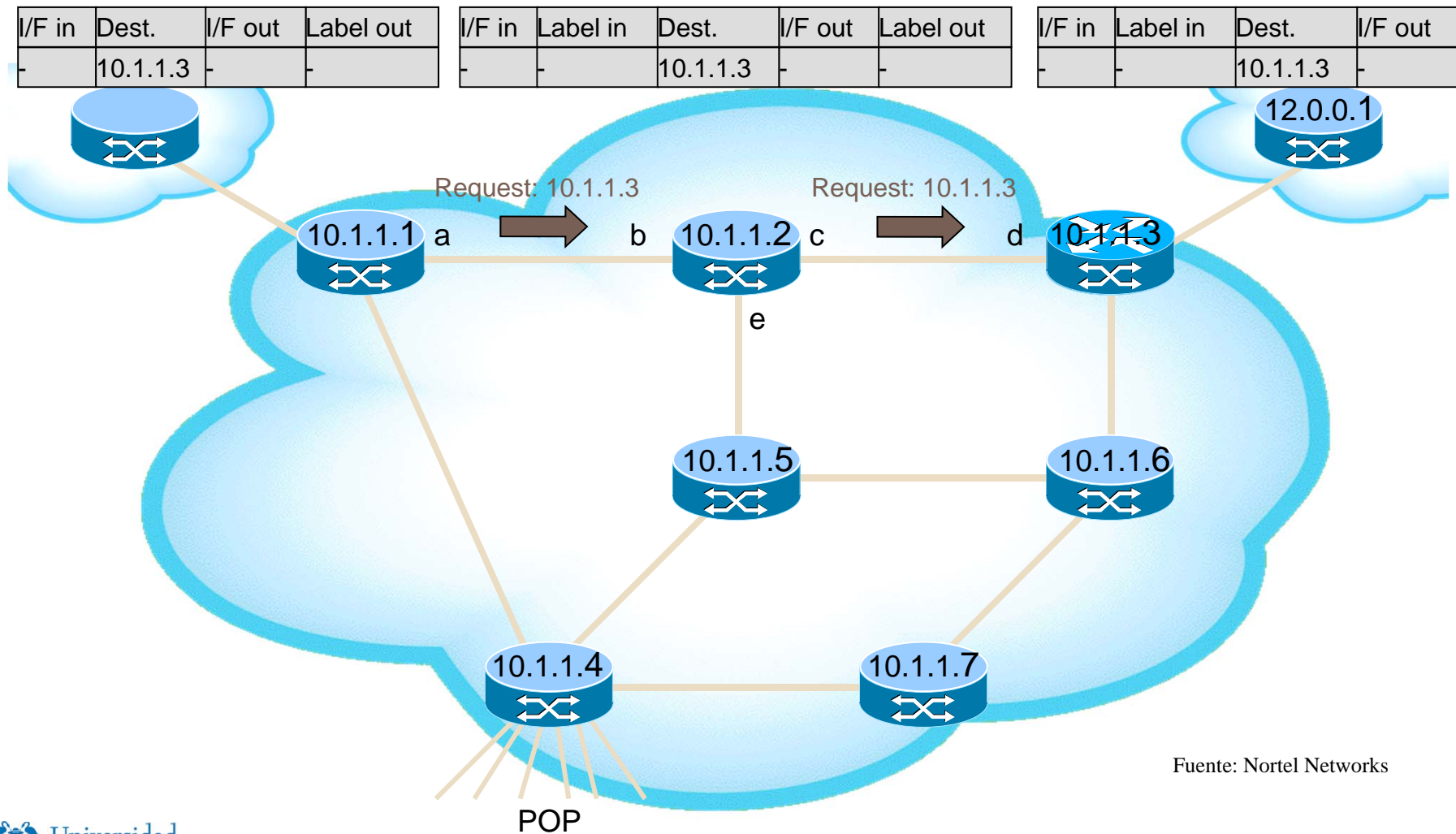
37

- Ejercicio: para la red de la figura, indique los pasos para establecer dos LSPs (uno entre 10.1.1.1 y 10.1.1.3 y otro LSP entre 10.1.1.4 y 10.1.1.3) asociados al mismo FEC. Considere los modos DoD, CLR y ordenado. Muestre el contenido en cada momento de las LFIB de 10.1.1.1, 10.1.1.2 y 10.1.1.3.



Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

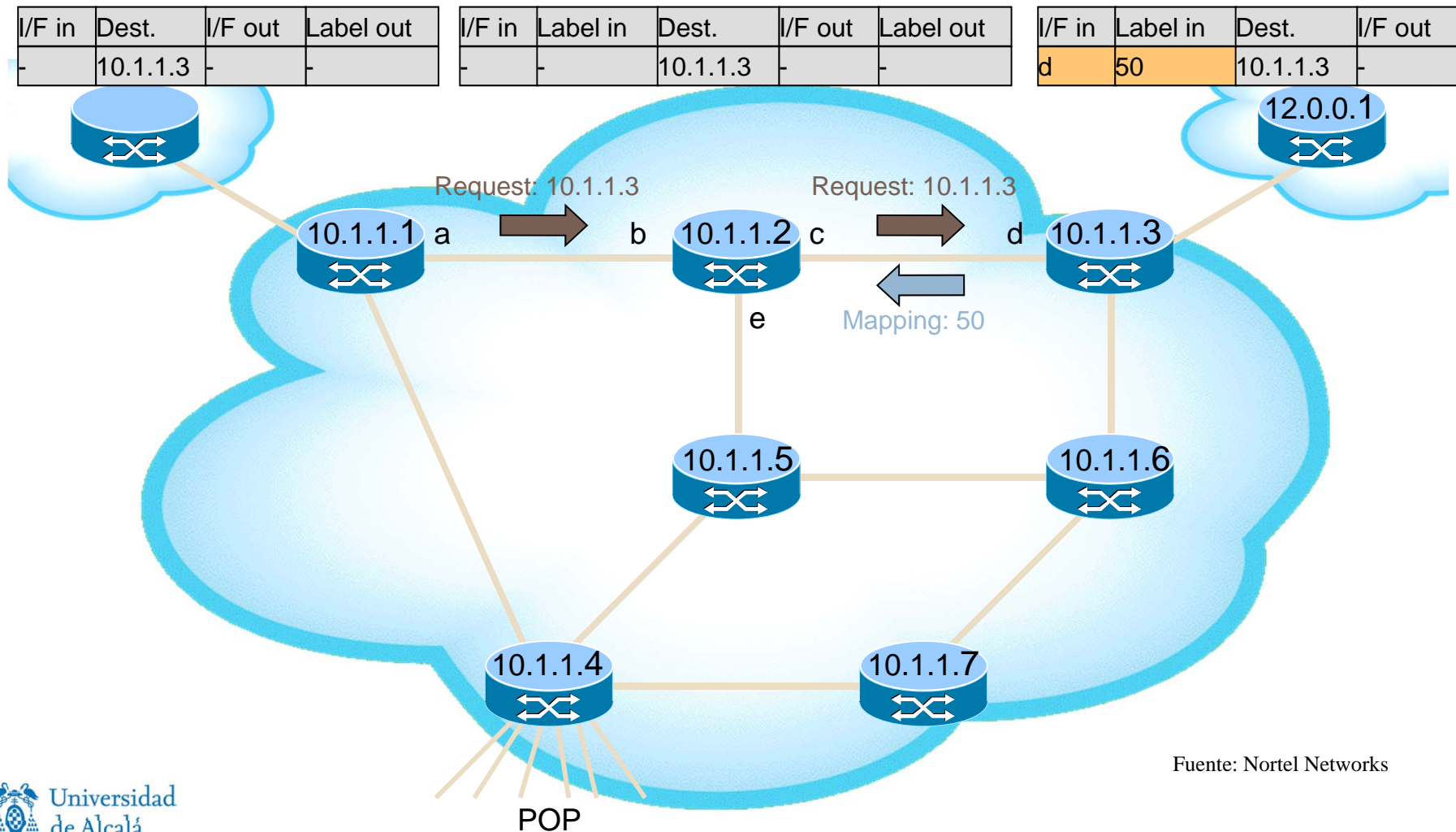
38



Fuente: Nortel Networks

Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

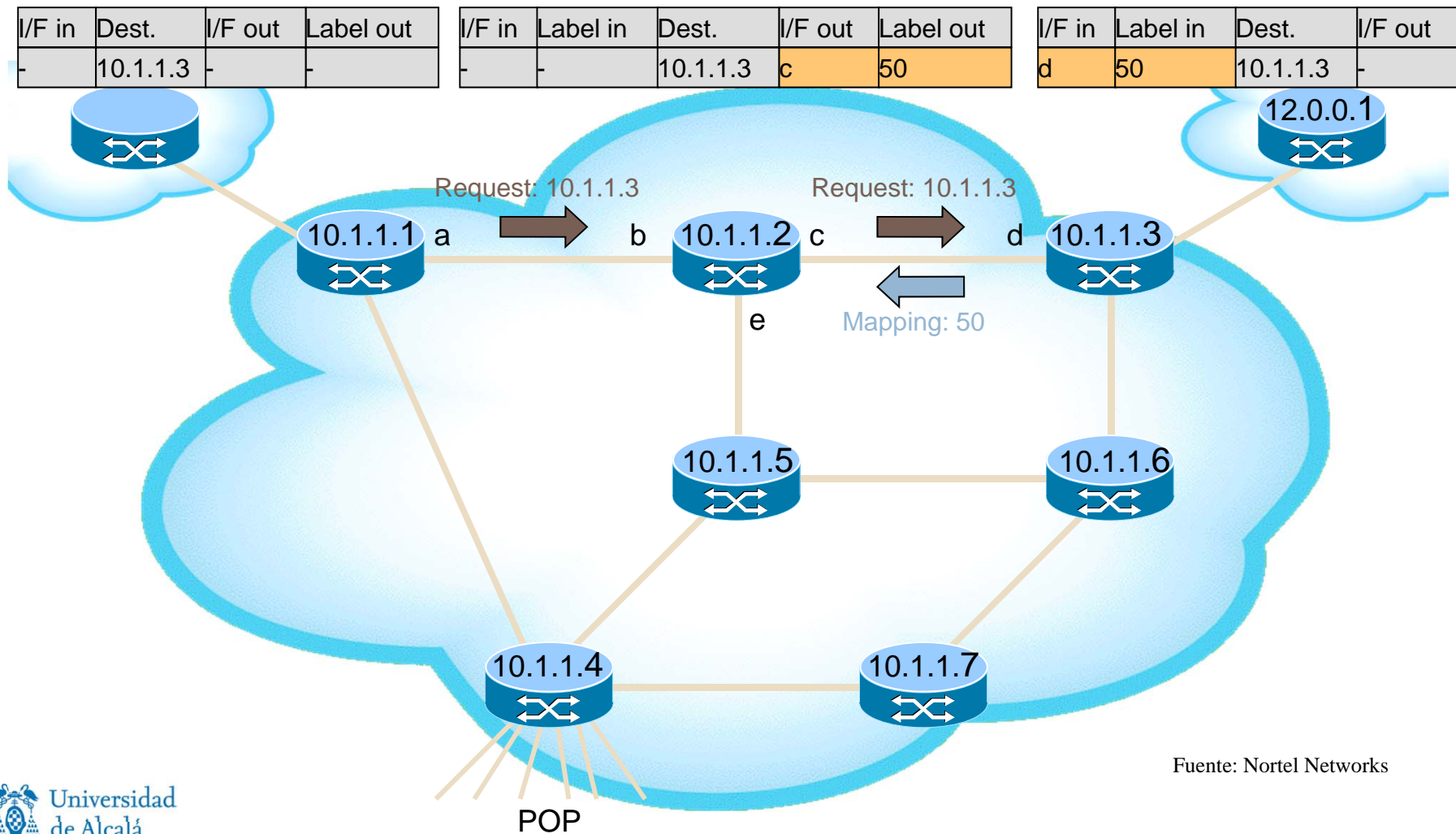
39



Fuente: Nortel Networks

Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

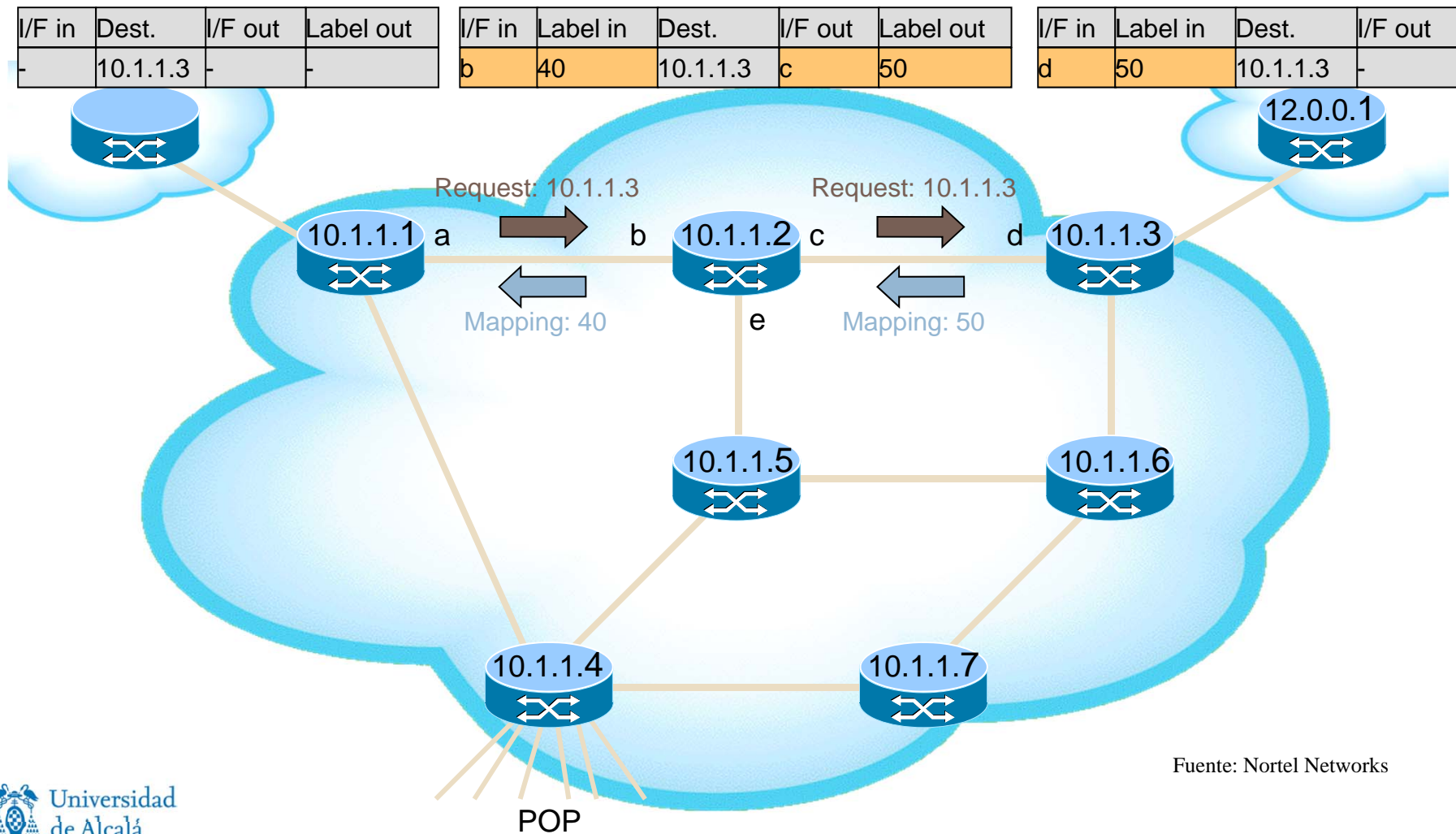
40



Fuente: Nortel Networks

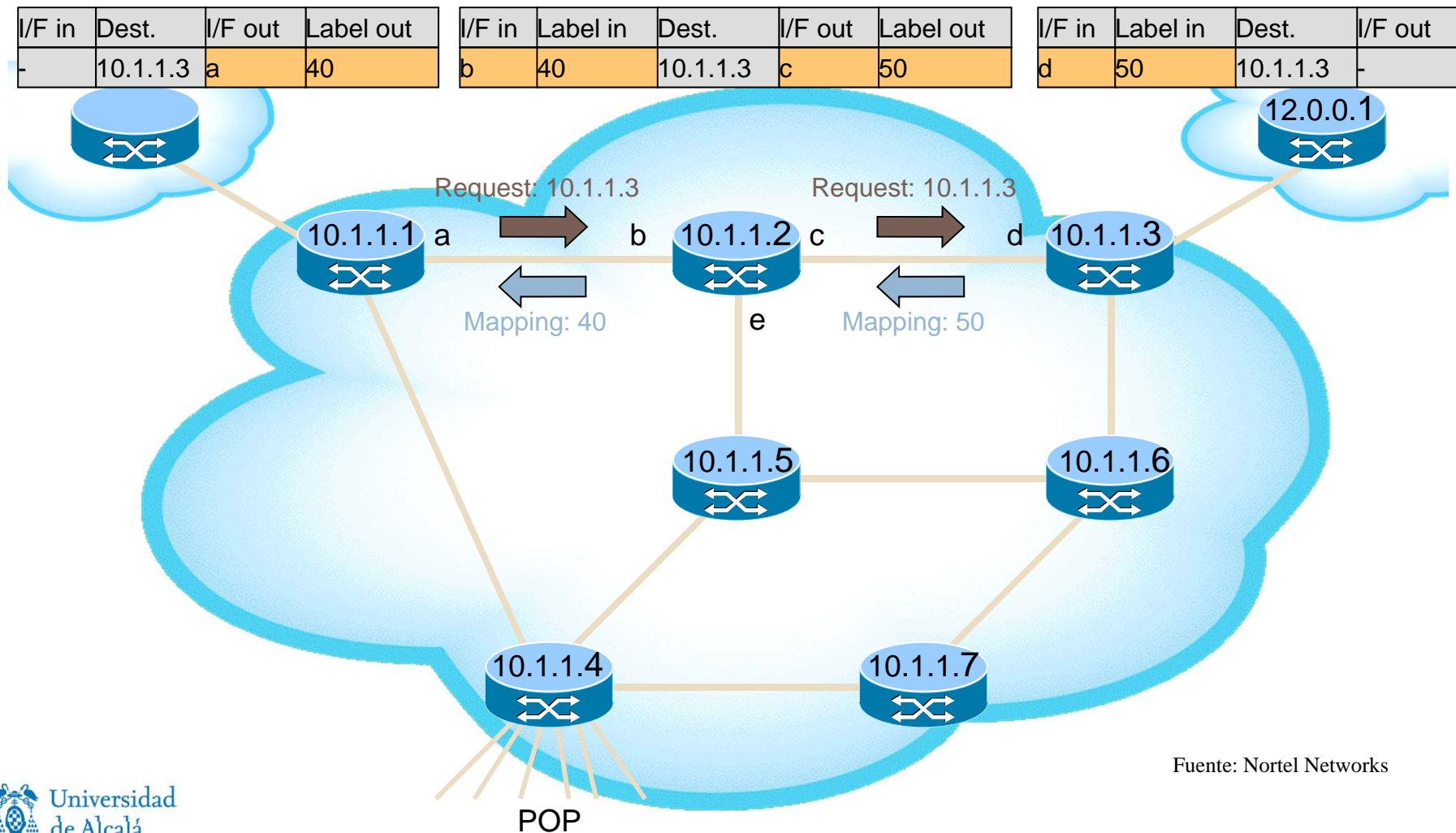
Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

41



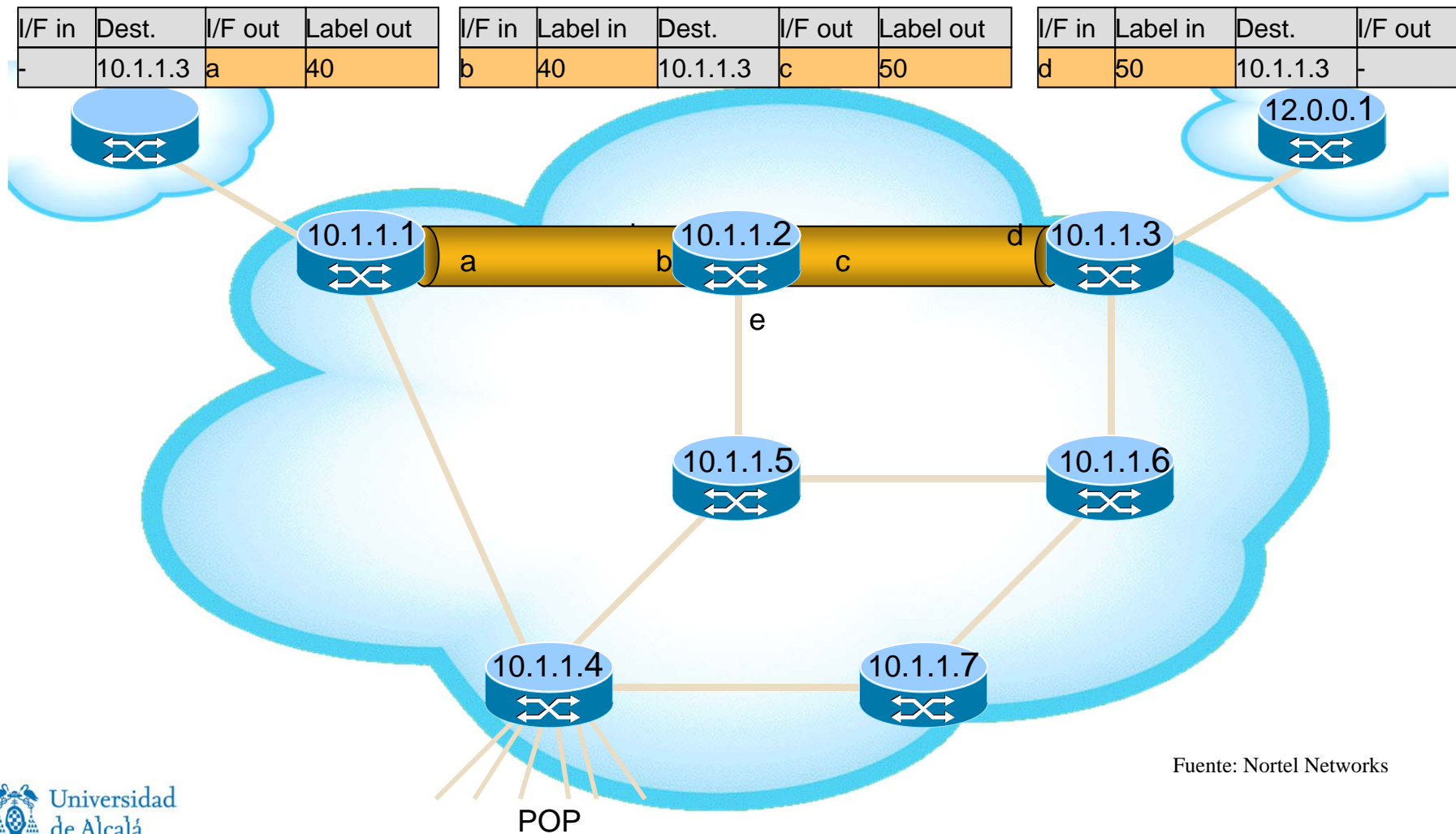
Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

42



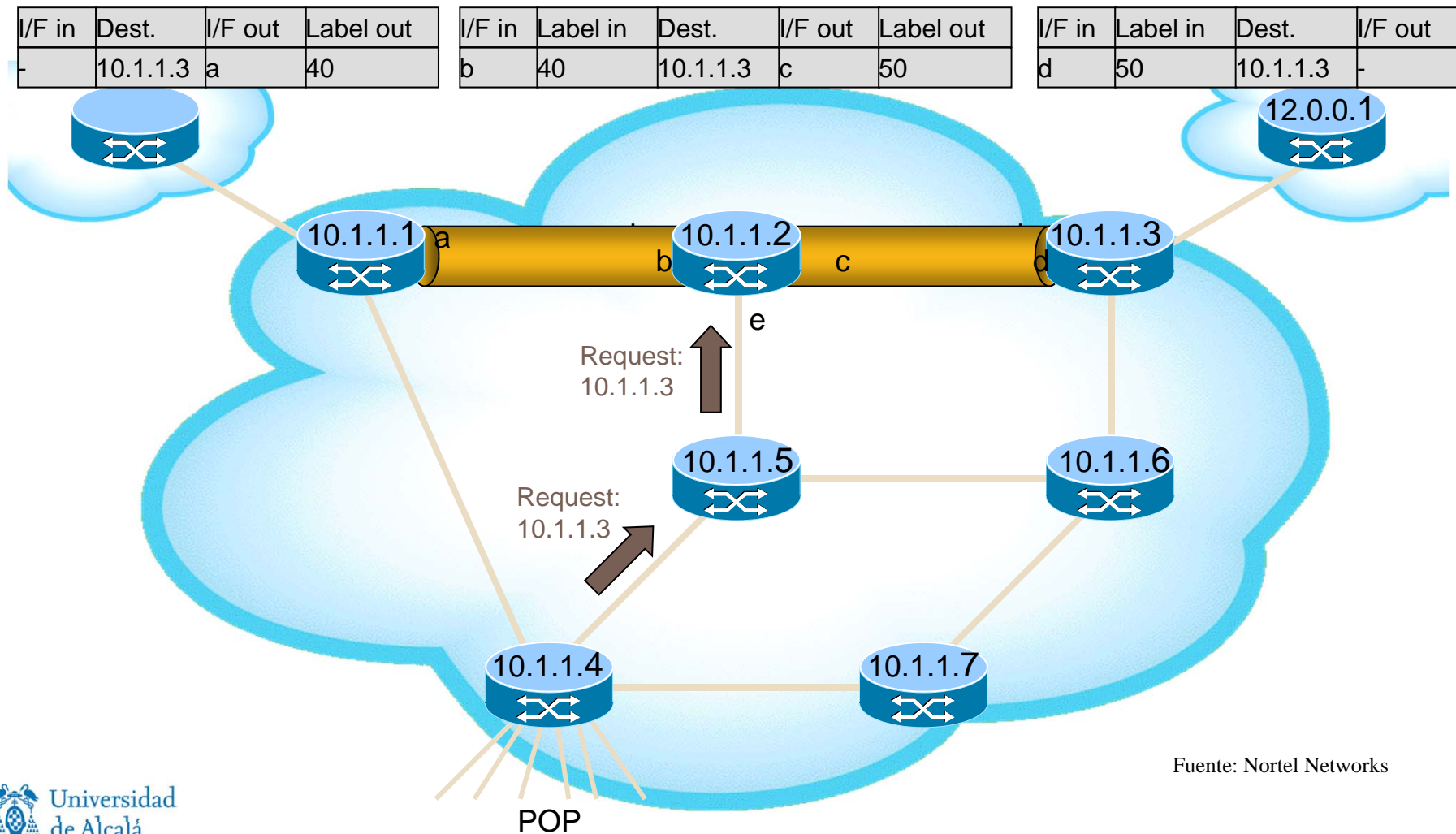
Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

43



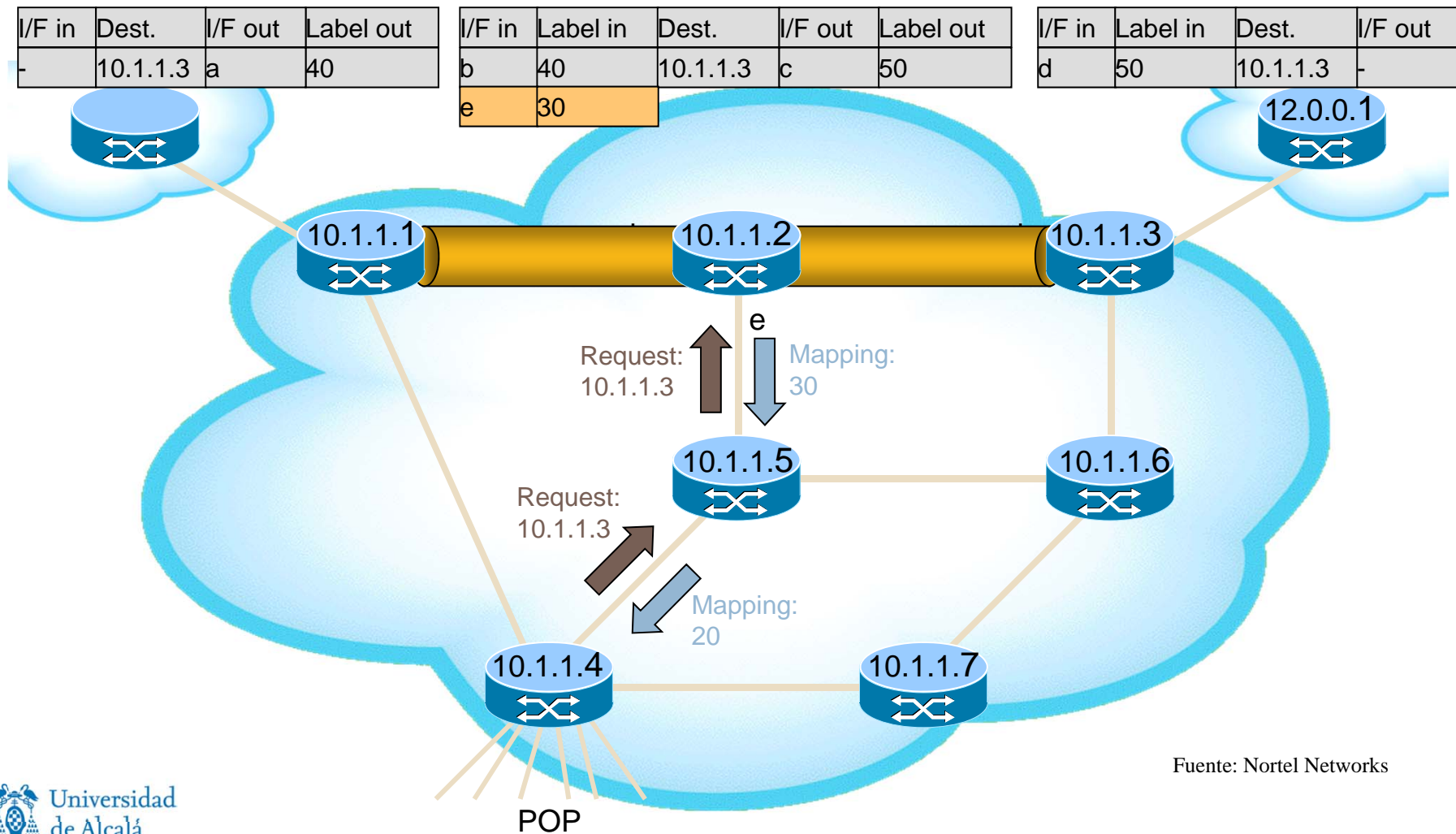
Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

44



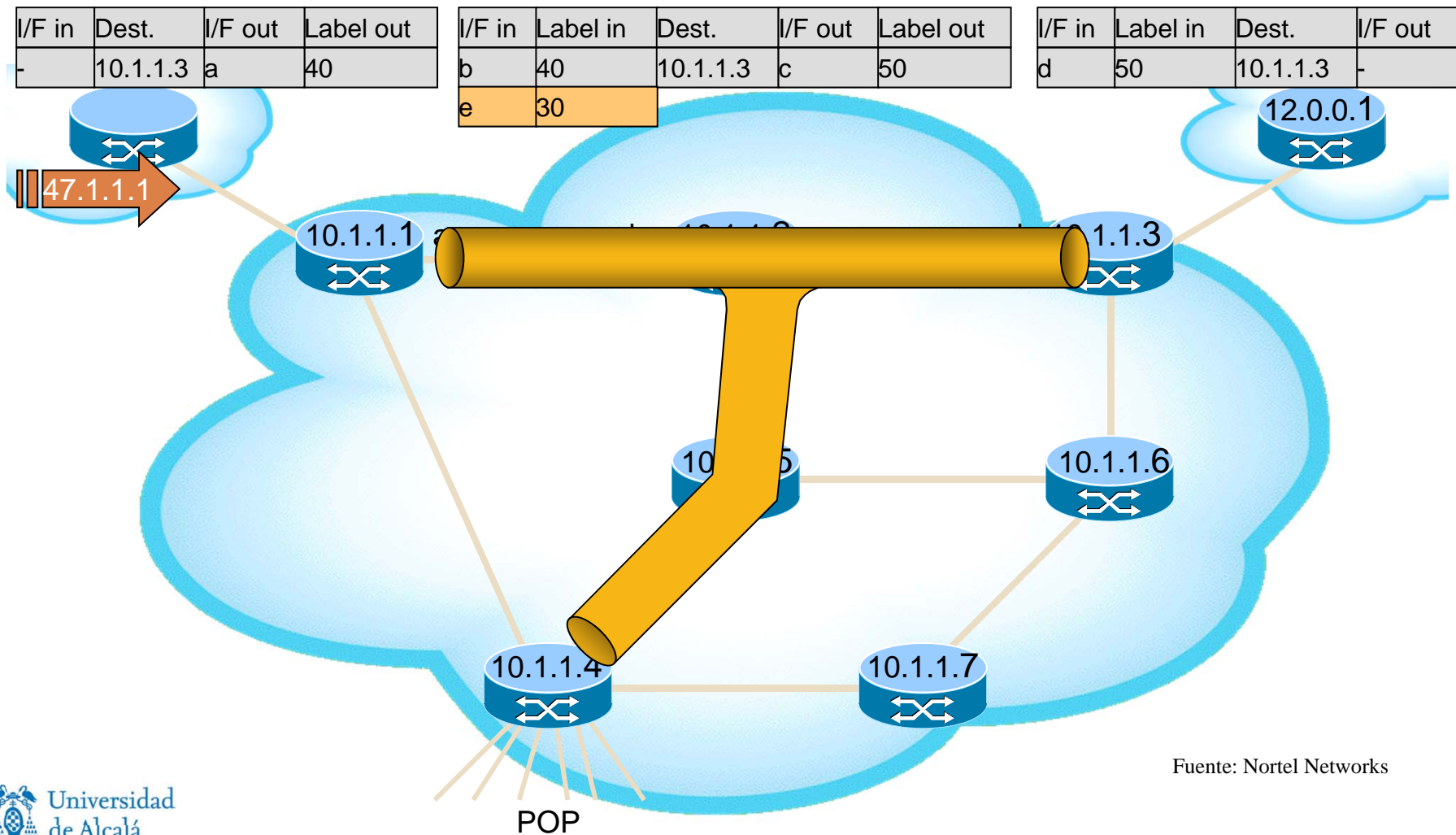
Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

45



Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

46

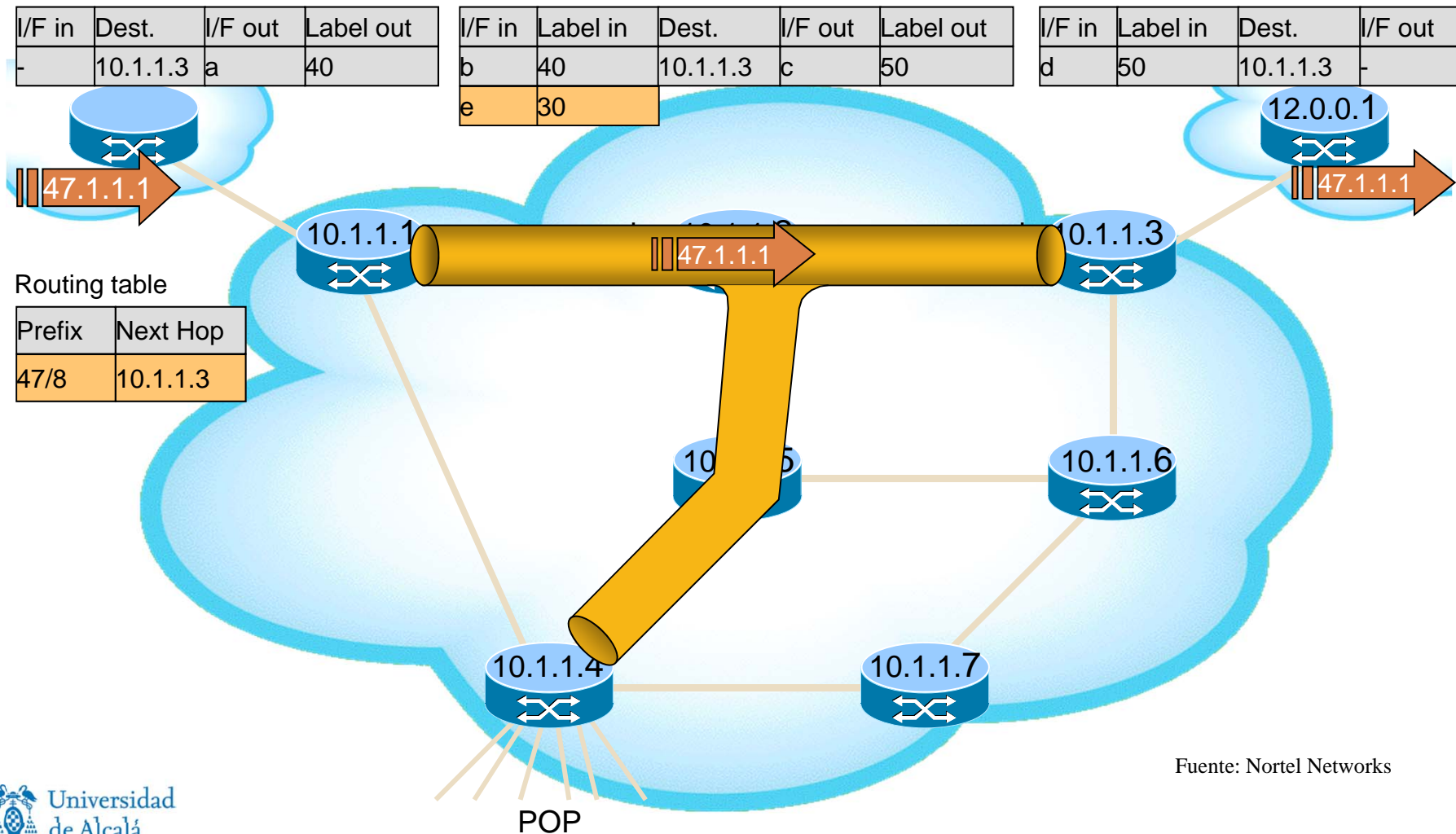


Fuente: Nortel Networks

Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

47

□ Uso de un paquete IP del LSP:



Fuente: Nortel Networks

Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

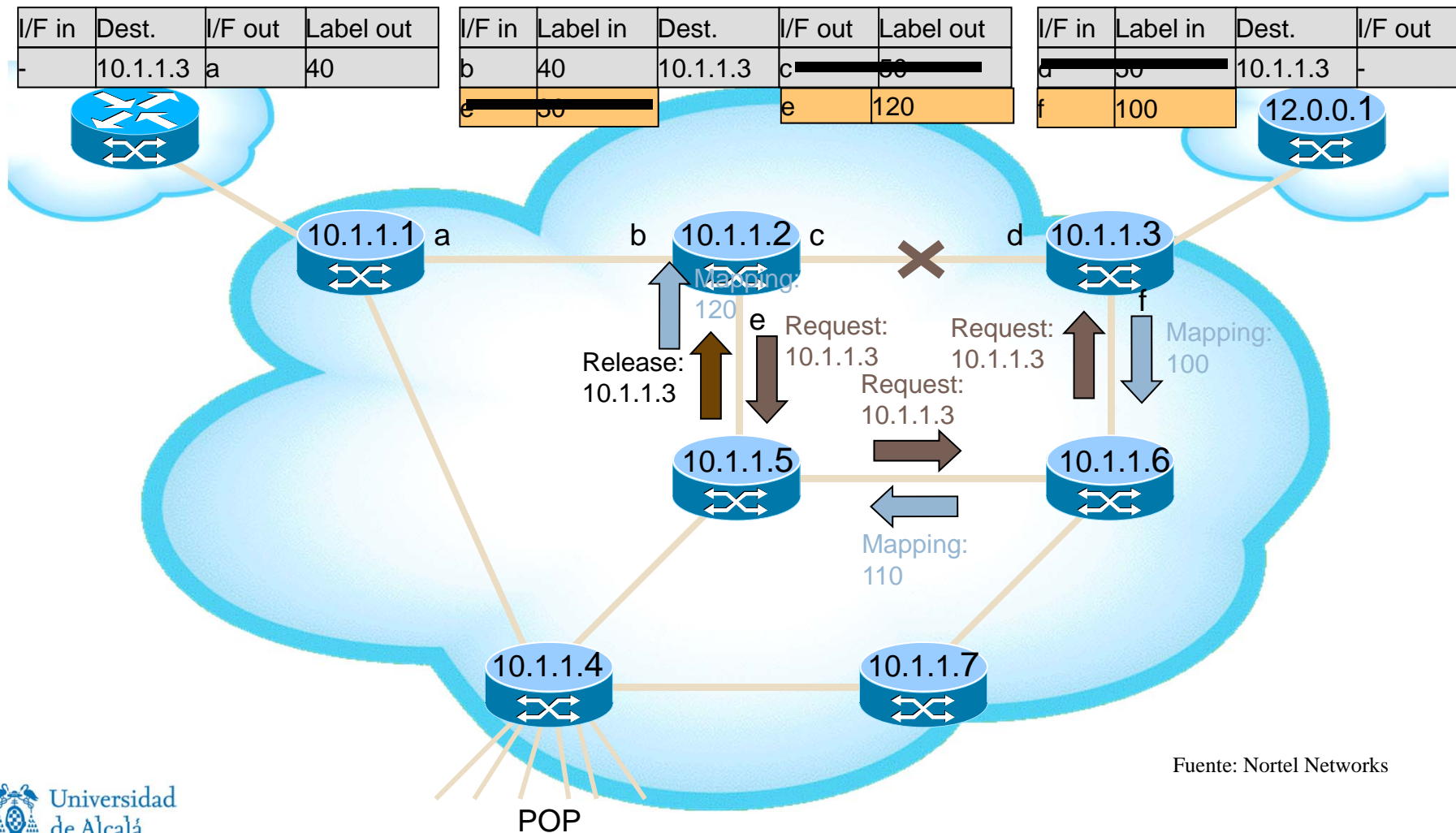
48

¿Qué ocurriría si cae el enlace
entre 10.1.1.2 y 10.1.1.3?

Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

49

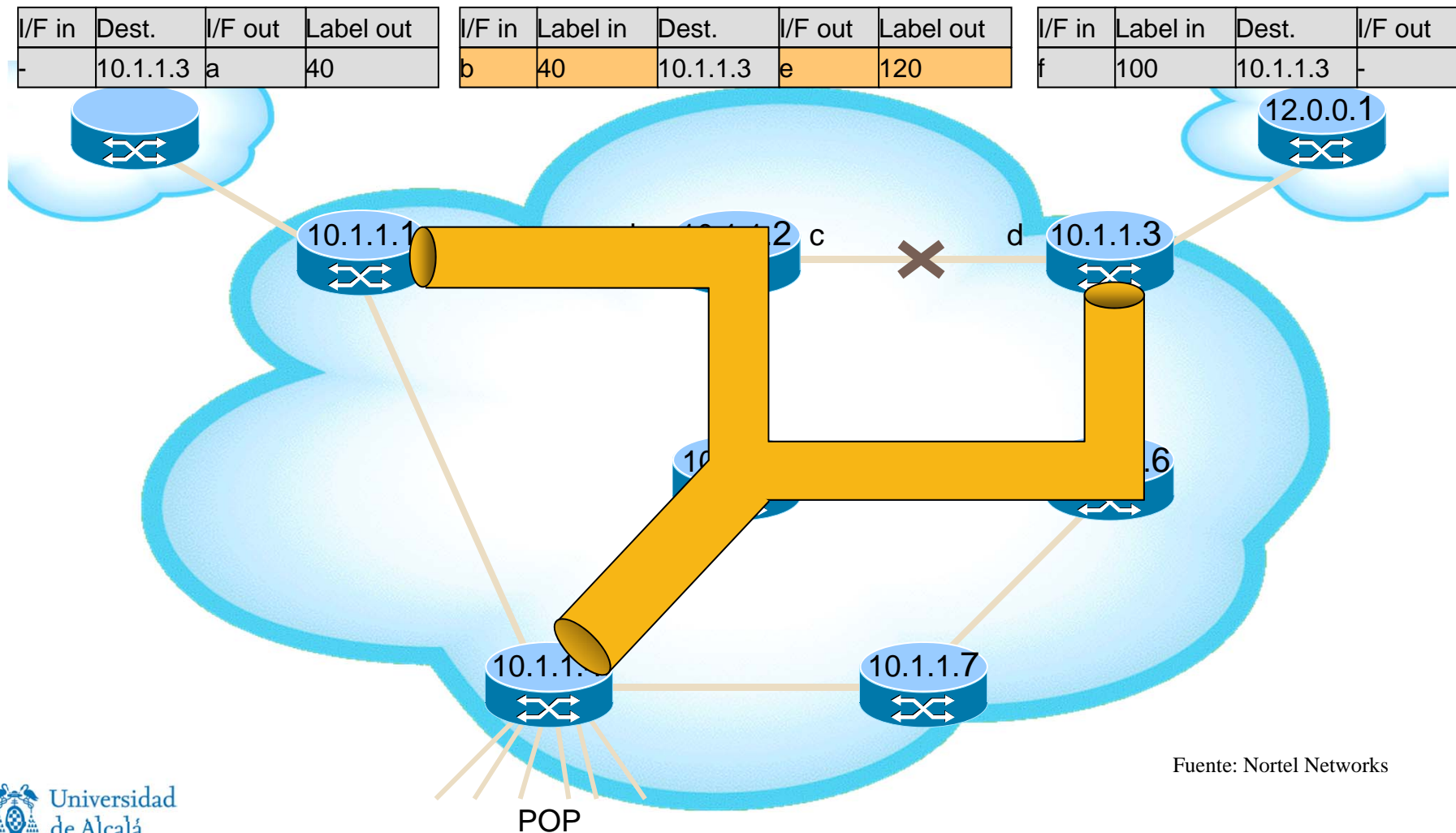
□ Caída de un enlace:



Ejemplo: *downstream-on-demand*, conservador, ordenado

50

□ Caída de un enlace:



Fuente: Nortel Networks

Entrada del siguiente salto (NHLFE)

51

- Hasta ahora se ha considerado que cada etiqueta de entrada tiene una única entrada en LFIB.
- Sin embargo, se permiten múltiples entradas en la tabla para cada etiqueta de entrada:
 - ▣ Cada entrada se llama: NHLFE: *Next Hop Label Forwarding Entry*.
 - ▣ ILM (*Incoming Label Map*, mapeo de etiquetas entrantes): mapea una etiqueta de entrada a un conjunto de NHLFE.
 - ▣ Posibilita:
 - Balanceo de carga por encaminamiento multicamino: distribuye la carga asociada a una etiqueta entrante por un conjunto de caminos.
 - Protección: permite el envío por múltiples caminos simultáneamente o conmutar a uno activo si cae el principal.
- MPLS no define qué NHLFE escoger...

Encaminamiento explícito

52

- MPLS usa la información de encaminamiento IP (encaminamiento salto a salto) para el establecimiento de LSPs.
- Sin embargo, MPLS también permite la creación de LSPs que sigan una ruta explícita:
 - ▣ No tiene porqué coincidir con la ruta salto a salto.
 - ▣ Útil para satisfacer un criterio QoS:
 - En el encaminamiento salto a salto suele minimizarse el número de saltos. Ahora podemos, por ejemplo:
 - Minimizar el retardo extremo a extremo.
 - Maximizar el *throughput*.
 - ▣ Útil para proveer balanceo de carga.
 - ▣ Útil para hacer túneles y VPNs.

Encaminamiento explícito

53

- El encaminamiento explícito admite dos modalidades:
 - ▣ Estricta: se define la ruta completamente.
 - ▣ No estricta o imprecisa: no se especifican todos los LSRs por los que pasará el LSP.
 - Suele emplearse cuando se atraviesan varios dominios MPLS y sobre alguno de ellos no podemos especificar el camino completamente.

Pila de etiquetas

54

- MPLS permite que un paquete lleve múltiples etiquetas organizadas como una pila.

Etiqueta (20b)	EXP (3b)	S = 0	TTL (8b)
Etiqueta (20b)	EXP (3b)	S = 0	TTL (8b)
⋮			
Etiqueta (20b)	EXP (3b)	S = 1	TTL (8b)

- El bit S indica si la etiqueta es la última (S=1) o no (S=0).

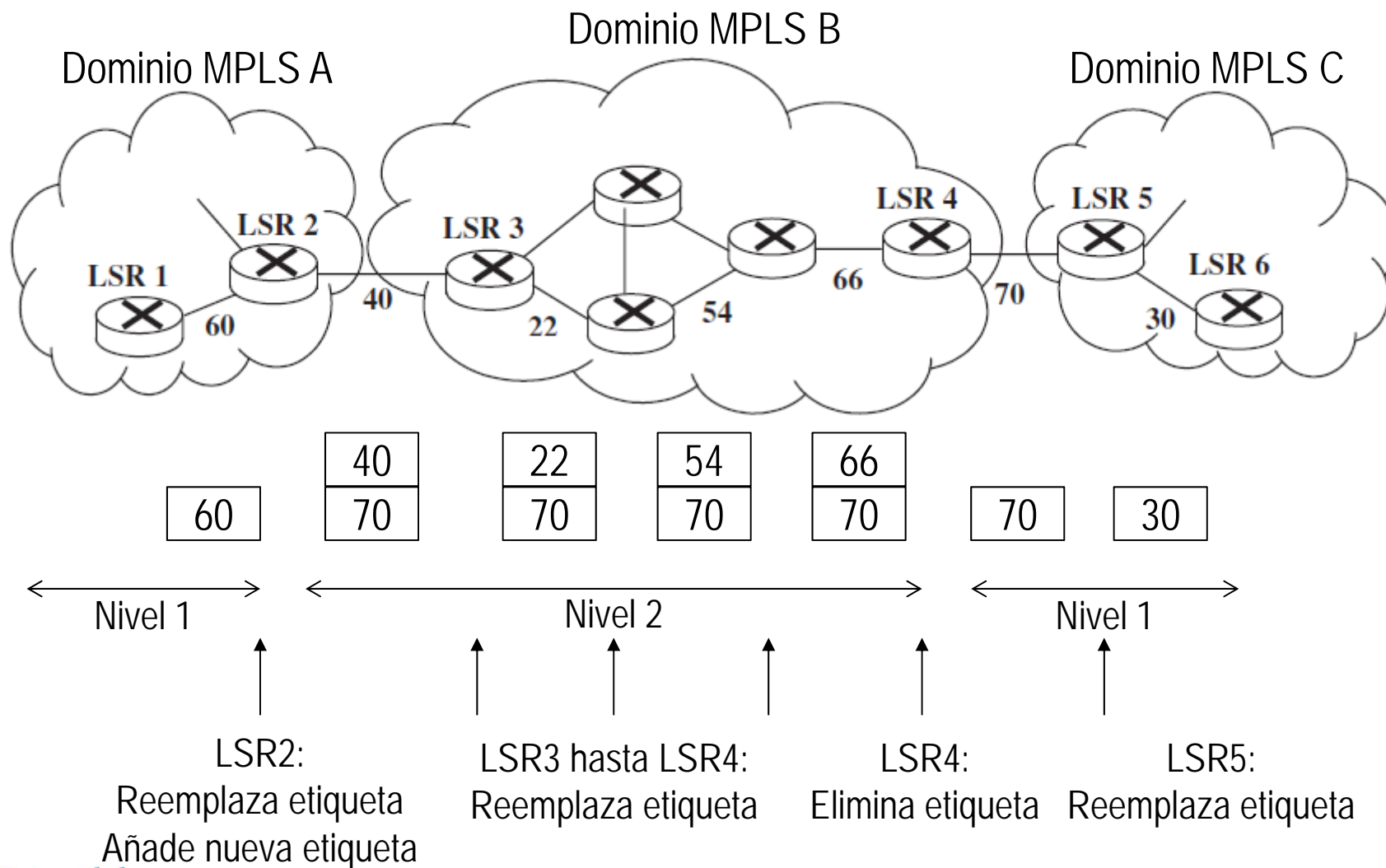
Pila de etiquetas

55

- Se pueden realizar tres operaciones sobre la etiqueta:
 1. Reemplazar la etiqueta de nivel más alto de la pila por una nueva etiqueta.
 - Esta es la operación que se ha visto que realizan los LSRs intermedios.
 2. Eliminar la etiqueta.
 - Cuando el siguiente salto es el LSR mismo (LSR final), este elimina la etiqueta superior de la pila y reenvía el paquete de acuerdo a la siguiente etiqueta o, si no tiene más etiquetas, como un paquete IP.
 3. Reemplazar la etiqueta de nivel más alto de la pila por una nueva etiqueta y entonces añadir una o más etiquetas a la pila.

Pila de etiquetas: ejemplo

56



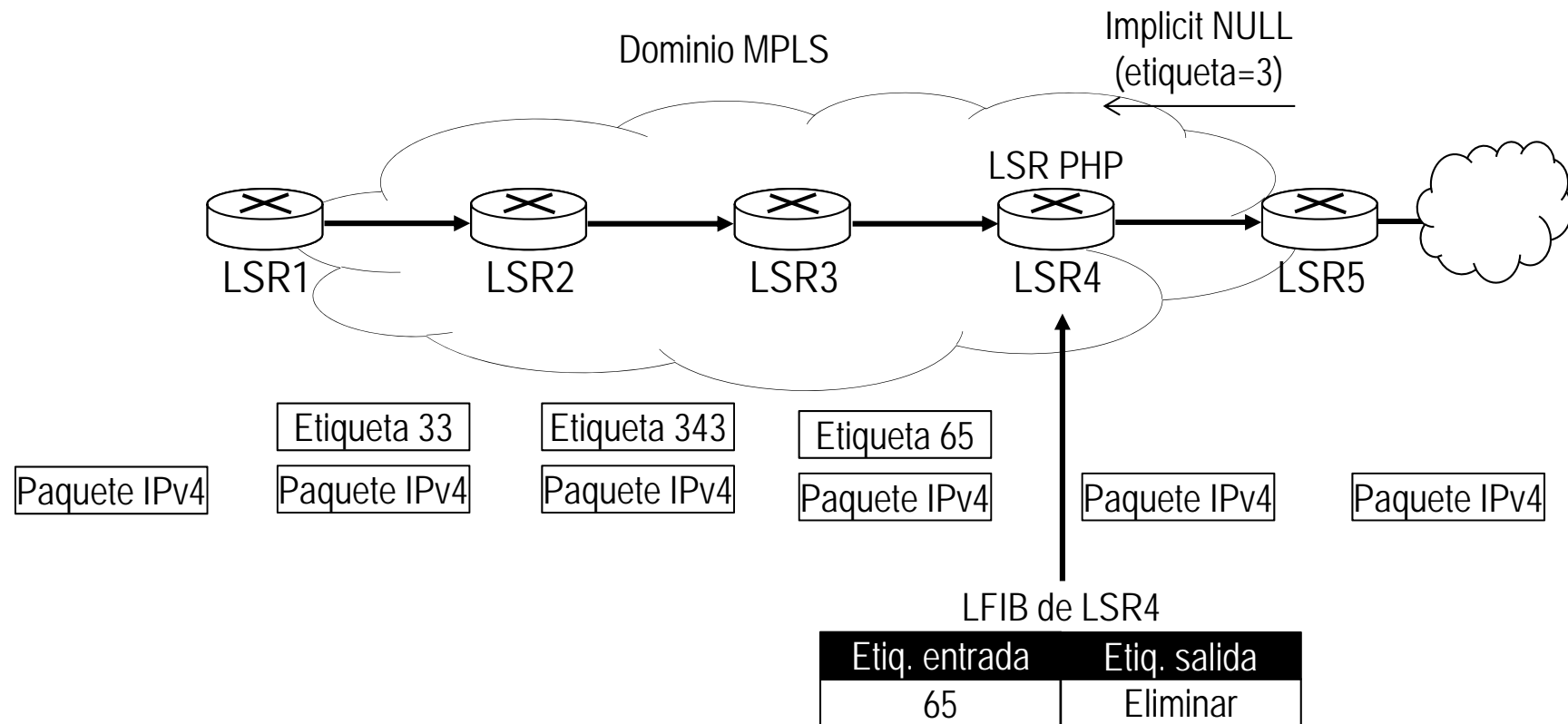
Penultimate Hop Popping

57

- ¿Qué se debe realizar en el LSR frontera de salida?
 1. Debe mirarse la etiqueta, buscarla en LFIB para darse cuenta que, simplemente, debe eliminarla.
 2. Hacer una búsqueda de capa 3 para encaminar dicho paquete.
- La doble búsqueda puede producir una degradación en las prestaciones del LSR, así como requiere una mayor complejidad hardware.
- Solución: uso de *penultimate hop popping* (PHP).
- Esta solución la emplea Cisco IOS por defecto.

Penultimate Hop Popping

58



Bucles en MPLS

59

- Los LSPs se construyen haciendo uso de los protocolos de encaminamiento de capa 3:
 - ▣ Estos protocolos tratan de evitar los bucles, pero...
 - ... casi todos los protocolos pueden producir bucles en determinadas condiciones transitorias, por ejemplo, al caer un enlace.
 - ... puede haber errores de configuración.
- Si no se previenen los bucles puede ocurrir:
 - ▣ Bucles en los paquetes de control de LSPs.
 - ▣ Bucles en los paquetes de datos MPLS.
- Maneras de controlar bucles en MPLS:
 - ▣ Reactiva: detección de bucles.
 - ▣ Preventiva: prevención de bucles.

Bucles en MPLS: detección

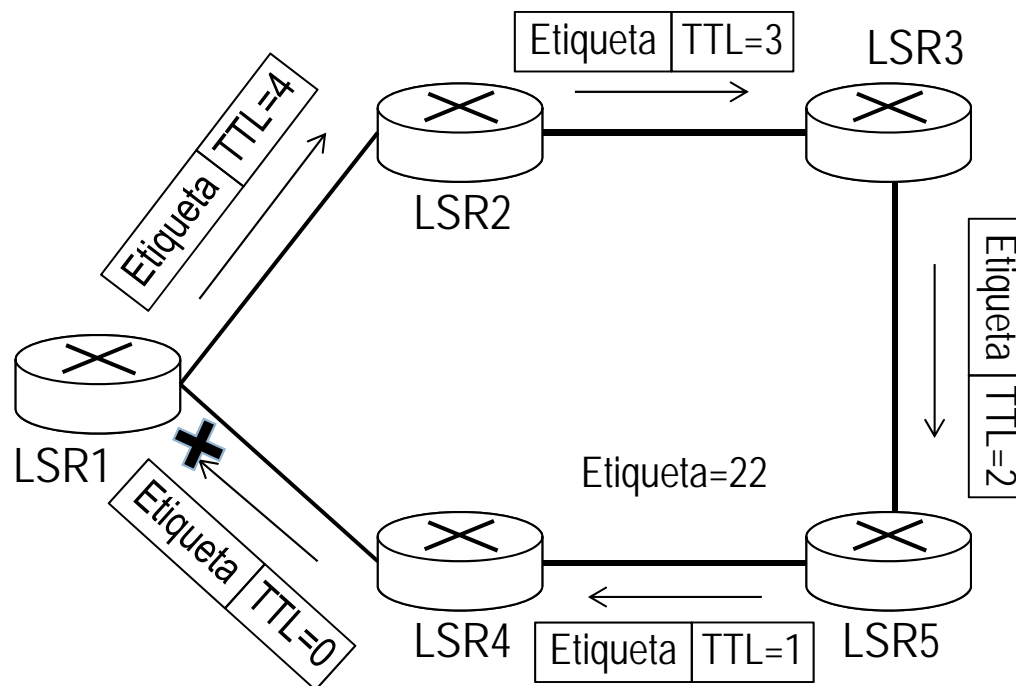
60

- Se permite la formación de bucles.
- No se permite que los paquetes que estén en un bucle afecten a la transmisión de paquetes que no formen ningún bucle.
- Dos escenarios posibles:
 1. En segmentos TTL:
 - Funcionamiento similar al TTL de IP.
 - Se usa campo TTL (*shim header*) el cual se decrementa hasta que llega a 0 → Descarte.
 2. En segmentos no TTL:
 - El campo TTL no está disponible si se usa MPLS sobre ATM.
 - Dos opciones:
 - i. En cada LSR se limitan los recursos que puede usar cada circuito virtual.
 - ii. Se utiliza un contador de saltos (*hop count*) en los mensajes LDP (como TTL pero en los paquetes de control LDP).

Bucles en MPLS: detección

61

□ Ejemplo en segmentos TTL:



Bucles en MPLS: prevención

62

- Previene la formación de bucles en LSPs antes de que se envíen paquetes sobre esos LSPs.
- Permiten detectar que se está formando un bucle antes que los mecanismos de detección (y antes de que acabe de formarse):
 - ▣ Útiles si no disponemos de TTL (por ejemplo si se usa ATM).
 - ▣ Si se quiere detectar antes de que venza el contador de saltos.
 - ▣ Los mecanismos de prevención añaden mayor sobrecarga que los de detección.
- Dos técnicas:
 - ▣ Algoritmo del vector camino.
 - ▣ Algoritmo del hilo coloreado.

Bucles en MPLS: prevención

63

- Algoritmo del vector camino:
 - ▣ Se previene la formación de bucles usando una lista de direcciones de LSRs.
 - ▣ Vector de camino: lista de LSRs por los que ha pasado un mensaje de solicitud o de asociación de etiqueta.
 - ▣ Cada mensaje de control para solicitar o asociar una etiqueta puede contener una lista de direcciones de LSRs, de manera que dicha lista se amplía cuando un LSR reenvía el mensaje.
 - ▣ Si un LSR detecta su dirección en dicha lista → Se detecta el bucle y no se permite que se forme el LSP.

Bucles en MPLS: prevención

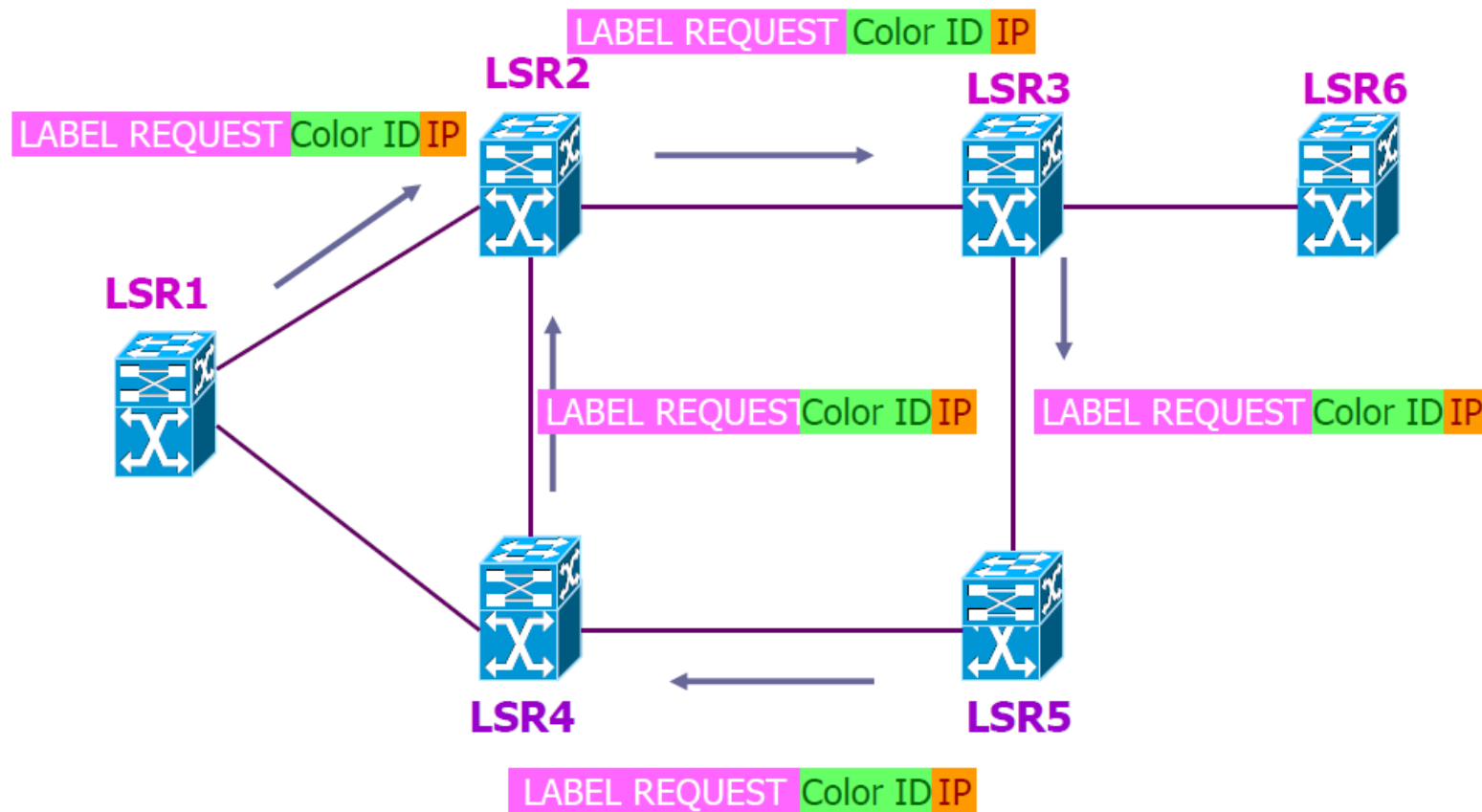
64

- Algoritmo del hilo coloreado:
 - ▣ Requiere, como mecanismo de establecimiento de camino, el de control ordenado.
 - ▣ Puede modelarse como un hilo coloreado que se extiende desde el inicio hasta el final del LSP.
 - ▣ Cualquier LSR intermedio detectaría un bucle si el hilo vuelve sobre sí mismo, lo que evita que se construya el LSP.
 - ▣ Los LSRs entonces esperan hasta que las tablas de encaminamiento converjan y se estabilicen antes de intentar extender otro hilo.

Bucles en MPLS: prevención

65

□ Algoritmo del hilo coloreado:



MPLS sobre ATM

66

- MPLS se definió para que pudiera funcionar sobre ATM.
- ATM: *Asynchronous Transfer Mode*.
 - ▣ Arquitectura preferida para RDSI de Banda Ancha.
 - ▣ Estandarizada por UIT-T en 1987.
 - ▣ Celda ATM (*ATM cell*): nombre que se le da a la PDU de ATM:
 - 53 octetos: 5 octetos cabecera + 48 octetos de datos.
- Cuando usamos MPLS sobre ATM:
 - ▣ Los protocolos de señalización que se usan en ATM como Q.2931 se sustituyen por protocolos de la familia IP como OSPF, BGP, RSVP...
 - ▣ Los conmutadores ATM se usan simplemente como dispositivos de conmutación de celdas.
 - ▣ Cada conmutador ATM (ATM-LSR) se identifica mediante una dirección IP.

MPLS sobre ATM

67

- Un LSP es una conexión ATM que se establece usando MPLS.
- La etiqueta MPLS se transporta en el campo VPI/VCI de cada celda ATM.
- Si se usa pila de etiquetas, solo pueden transportarse dos etiquetas.
- La asignación de etiquetas se hace usando el tipo *"downstream on demand"*.

MPLS sobre ATM: ejemplo

68

□ Transmisión de un paquete IP:

1. Al llegar al nodo de ingreso ATM-LSR:

- Se encapsula usando el protocolo AAL5 (*ATM Adaptation Layer 5*).
- Se segmenta en un número entero de bloques de datos de 48 octetos.
- Cada bloque se transporta en una celda ATM, en cuya cabecera de 5 octetos (en los campos VPI/VCI) se introduce la etiqueta MPLS.

2. Se transmiten por la red dichas celdas.

- Cada vez que llega a un nuevo ATM-LSR se reemplaza la etiqueta por la de salida y se encamina por la interfaz correspondiente al siguiente ATM-LSR.

3. Al llegar al nodo de salida ATM-LSR:

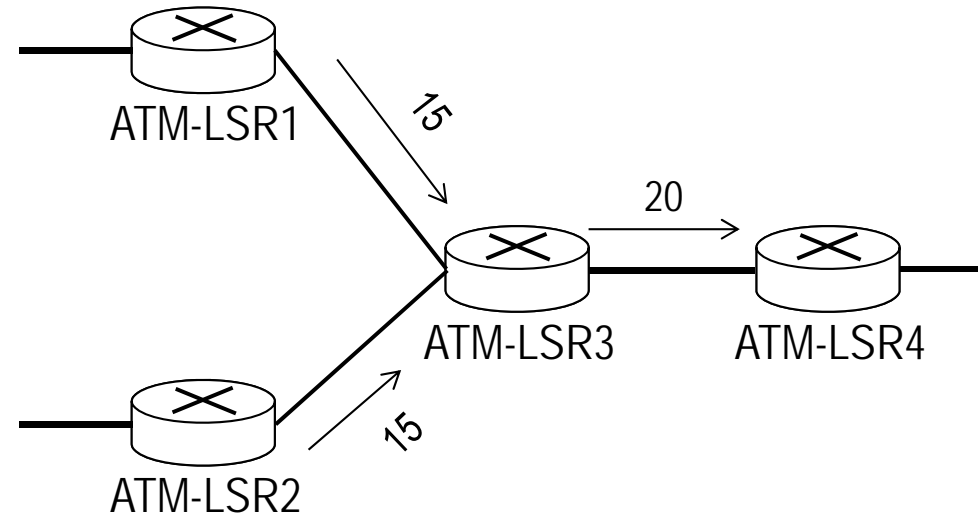
- Se reensamblan las celdas ATM para formar la PDU AAL5.
- Se desencapsula el paquete IP.

- Cada paquete IP se transmite por la red de ATM-LSRs en una secuencia de celdas ATM que se conmutan en cada ATM-LSR sin tener que reconstruir el paquete IP en cada ATM-LSR intermedio, solo en el nodo de salida.

MPLS sobre ATM: LSPs acoplados (*merging*)

69

- Problema que aparece cuando dos ATM-LSRs están conectados al mismo ATM-LSR en sentido *downstream*.
- Ejemplo:
 - ▣ Se mezclan las celdas ATM de los paquetes IP que envían ATM-LSR1 y ATM-LSR2 para un mismo FEC.



- Soluciones:
 - ▣ Solo poner en el buffer de salida de LSR3 celdas de un mismo paquete consecutivamente (hay que identificar cuál es la primera y última celda de cada paquete).
 - ▣ Uso de etiquetas diferentes para ambos caminos.

MPLS

Resumen y conclusiones

70

- Las redes MPLS usan etiquetas para reenviar paquetes.
- El nodo de entrada MPLS asigna cada paquete a un determinado FEC solo una vez (conforme el paquete entra en la red).
 - ▣ El FEC al cual se asigna un paquete se codifica como un valor de tamaño fijo y pequeño llamado etiqueta.
- Los paquetes son etiquetados antes de ser reenviados.
- En los siguientes saltos no se hace ningún análisis de la cabecera de capa de red.
- La etiqueta se usa como un índice de una tabla, que especifica el siguiente salto y la nueva etiqueta.
 - ▣ La vieja etiqueta se sustituye por la nuevo y el paquete se reenvía al siguiente salto.

Resumen y conclusiones

71

- LSR: equipo que tiene capacidad de reenviar tráfico basándose en etiquetas.
- LSP: camino específico a través de una red MPLS.
- Los LSPs se establecen usando LDP, RSVP-TE, CR-LDP o extensiones a protocolos de encaminamiento.
- El establecimiento de LSP puede hacerse de dos formas (que pueden coexistir en la misma red):
 1. Control independiente: proporciona una convergencia rápida.
 2. Control ordenado: se propagan las asociaciones de etiquetas antes de establecer el camino. Proporciona mejores capacidades de prevención de bucles.

Resumen y conclusiones

72

- Se permite que (ambas técnicas pueden coexistir):
 - ▣ Un LSR solicite a su siguiente salto y para un FEC particular cuál es la asociación para dicho FEC → Distribución de etiquetas *downstream-on-demand*.
 - ▣ Un LSR distribuya sus asociaciones a LSRs que no las han solicitado explícitamente → Distribución de etiquetas *unsolicited downstream*.
- Control de bucles en MPLS:
 - ▣ Detección de bucles:
 - Se usa un contador de saltos o TTL para detectar que se ha formado un bucle.
 - ▣ Prevención de bucles:
 - Se previene la formación de bucles antes de que se formen.

Listado de acrónimos

73

- AAL5: ATM Adaptation Layer 5.
- ATM: Asynchronous Transfer Mode.
- BGP: Border Gateway Protocol.
- CLR: Conservative Label Retention.
- CoS: Class of Service. Clase de servicio.
- CR-LDP: Constraint-based Routing LDP.
- DLCI: Data Link Connection Identifier.
- DoD: Downstream on Demand.
- DSCP: DiffServ Code Point.
- BGP: Border Gateway Protocol.
- FEC: Forwarding Equivalency Class.
- FRR: FastReRouting.
- IETF: Internet Engineering Task Force.

Listado de acrónimos

74

- ☐ ILM: Incoming Label Map.
- ☐ IP: Internet Protocol.
- ☐ IPX: Internetwork Packet eXchange.
- ☐ LDP: Label Distribution Protocol.
- ☐ LFIB: Label Forward Information Base.
- ☐ LLR: Liberal Label Retention.
- ☐ LSP: Label Switched Path.
- ☐ LSR: Label Switching Router.
- ☐ MPLS: Multi-Protocol Label Switching. Conmutación de etiquetas multiprotocolo.
- ☐ NHLFE: Next Ho Label Forwarding Entry.
- ☐ OSPF: Open Shortest Path First.
- ☐ PHP: Penultimate Hop Popping.

Listado de acrónimos

75

- PPP: Point-to-Point Protocol.
- QoS: Quality of Service. Calidad de servicio.
- RDSI: Red Digital de Servicios Integrados.
- RSVP: Resource ReSerVation Protocol.
- RSVP-TE: RSVP Traffic Engineering.
- ToS: Type of Service.
- TTL: Time-To-Live.
- UD: Unsolicited Downstream.
- UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- VC: Virtual Circuit. Circuito virtual.
- VPI/VCI: Virtual Path/Channel Identifier.
- VPN: Virtual Private Networks. Redes Privadas Virtuales.

Bibliografía

76

- V. Alwayn, "*Advanced MPLS Design and Implementation*", Cisco Press, 2001.
- H. Perros, "*Connection-oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS and Optical Networks*", John Wiley & Sons, 2005.
- L. De Ghein, "*MPLS Fundamentals*", Cisco Press, 2007.
- E. Osborne, "*Traffic engineering with MPLS*", Cisco Press, 2002.