

# Capítulo 4

## La Capa de Red – OSPF

Application
Transport
Network
Link
Physical

# Sistemas autónomos

- Un **sistema autónomo** (SA) consiste de un grupo de enrutadores bajo el mismo control administrativo.
  - A menudo los enrutadores de un proveedor de servicios de internet (PSI) y los enlaces que los interconectan constituyen un SA.
  - A veces un PSI divide su red en varios SA.
  - Los enrutadores dentro de un SA corren el mismo algoritmo de enrutamiento llamado **protocolo de enrutamiento intra-SA**.
- **Internet** es un conjunto de SAs.
  - En internet los SA están numerados, cada uno con un número que lo identifica.

# OSPF

- **¿Por qué se necesita definir un protocolo intra-SA especial para internet?**
- **Razones:**
  - ❑ Los protocolos de enrutamiento estudiados no son compatibles con IP por la forma de las tablas de enrutamiento que se usaban.
  - ❑ Los protocolos de enrutamiento anteriores estudiados no son adecuados cuando un SA es demasiado grande (se hace pesado consultar y actualizar las tablas de enrutamiento).
  - ❑ El modelo de grafo para los protocolos de enrutamiento vistos no es adecuado cuando se trabaja con IP (los destinos son subredes con prefijo en lugar de enrutadores).
  - ❑ A veces hay más de un camino más corto a un destino y no se saca provecho de esta situación para balancear la carga que tiene un enrutador.

# OSPF

- **Solución:** En 1988 se definió **OSPF (Open Shortest Path First)**.
  - Es un **Protocolo de puerta de enlace interior (IGP)** - OSPF trabaja dentro de un **SA**.
  - Ahora la mayoría de vendedores de enrutadores lo apoyan.
  - Supera los problemas anteriores
  - OSPF considera una adaptación del método de **enrutamiento de estado de enlace**.

# OSPF

- ¿Por qué estudiar OSPF?
- Porque OSPF introduce ***mejoras interesantes*** al protocolo de enrutamiento de estado de enlace:
  - Es compatible con IP.
  - En OSPF el modelo de grafo asociado a un SA es bastante más flexible que el usado para los protocolos de enrutamiento anteriores al considerar redes de distintos tipos.
  - Para permitir SA grandes OSPF organiza un SA como una jerarquía de niveles.
  - Con OSPF para un destino se puede considerar más de una línea de salida (cuando hay más de un camino óptimo) para balancear la carga en la red.
- Estas mejoras introducen **problemas nuevos** para diseñar un algoritmo de enrutamiento.

# OSPF

- **Aprenderemos:**

1. **Organización de los sistemas autónomos en OSPF**

- Para entender cómo se organiza un SA autónomo jerárquicamente y cómo esto da lugar a distintos tipos de enrutadores.

2. Estructura de redes soportadas por OSPF

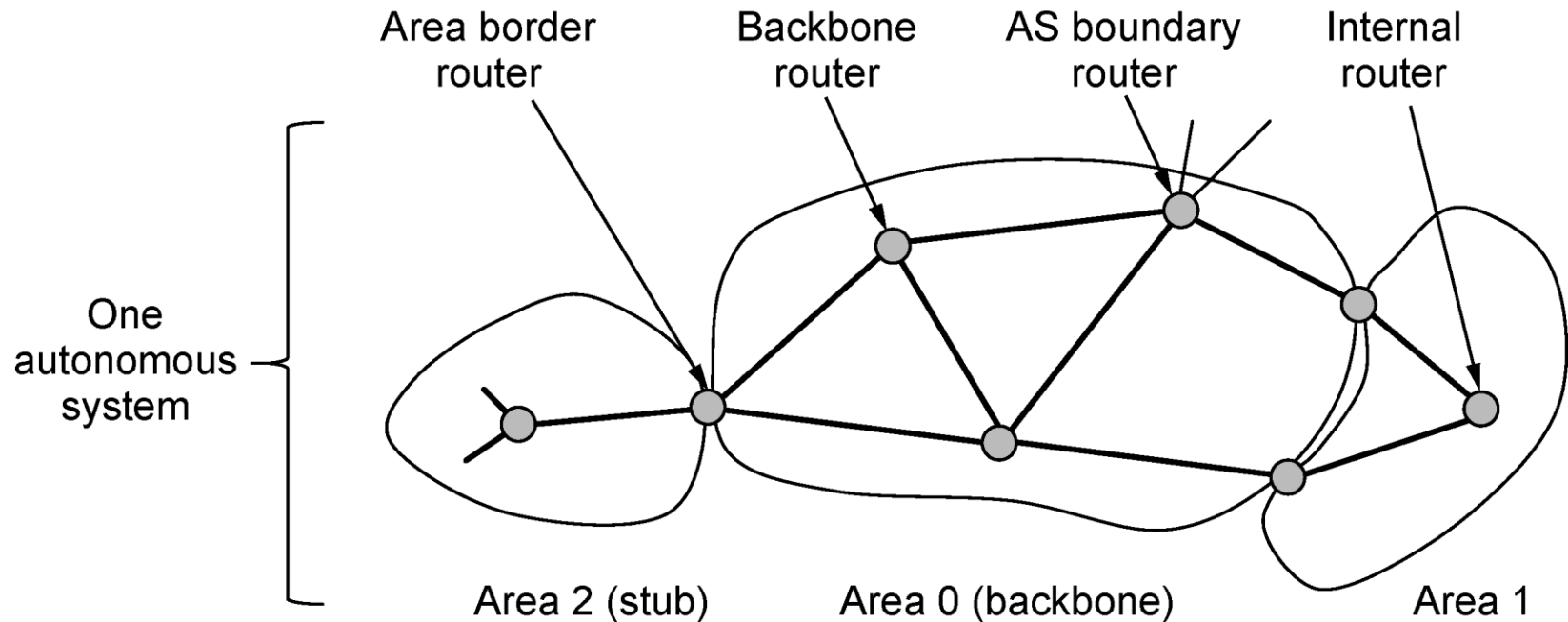
3. Distintos tipos de avisos de estado de enlace

4. Adaptación del algoritmo de estado de enlace en OSPF

# OSPF

- **Problema:** ¿Cómo conviene organizar un SA muy grande?
- **Solución:** Considerar un SA como una red jerárquica.
  - Ya analizamos anteriormente los costos en que se incurre si no se hace esto.
  - ¿Cómo se puede definir la jerarquía?

# OSPF



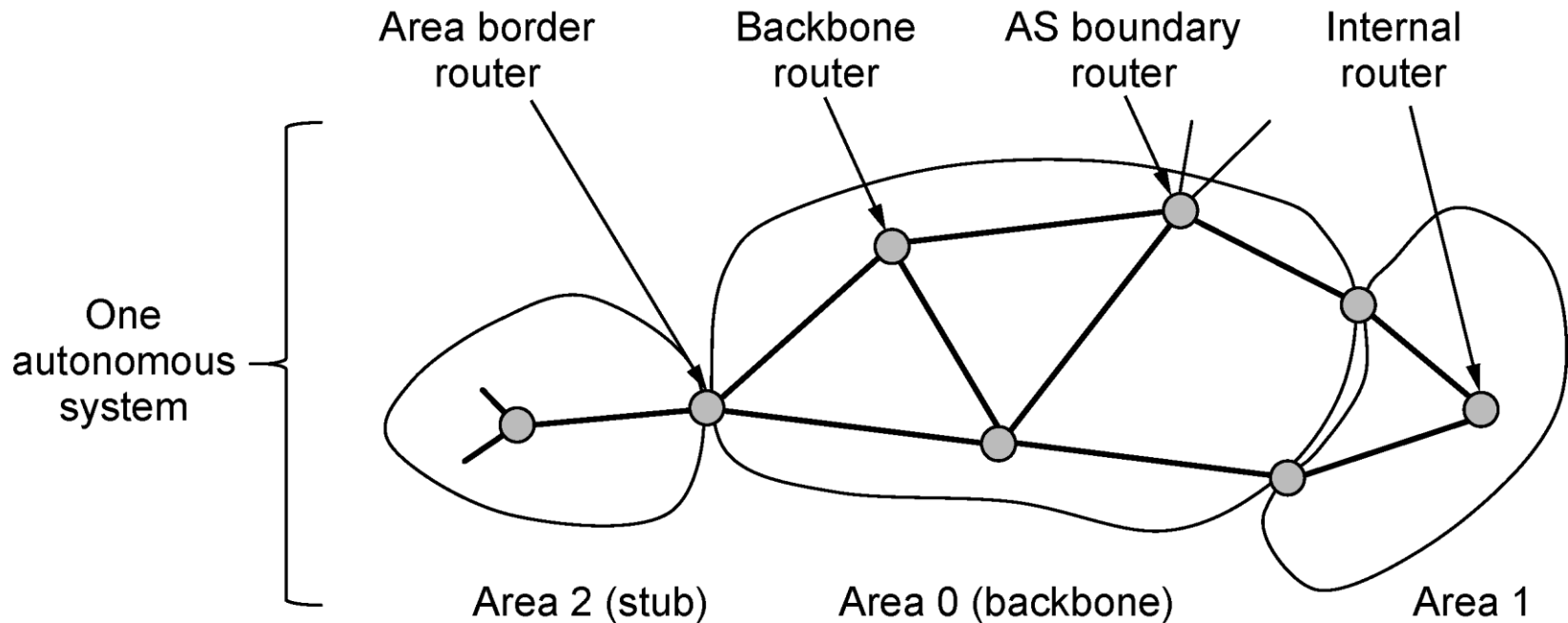
La relación entre áreas en OSPF.

## Organización de un SA en OSPF:

- OSPF divide los SAs en **áreas numeradas**.
- *Un área puede contener varias redes adentro de ella.*
- Cada enrutador está configurado para conocer qué otros enrutadores están en su área.
- **Las áreas no se traslapan.**



# OSPF

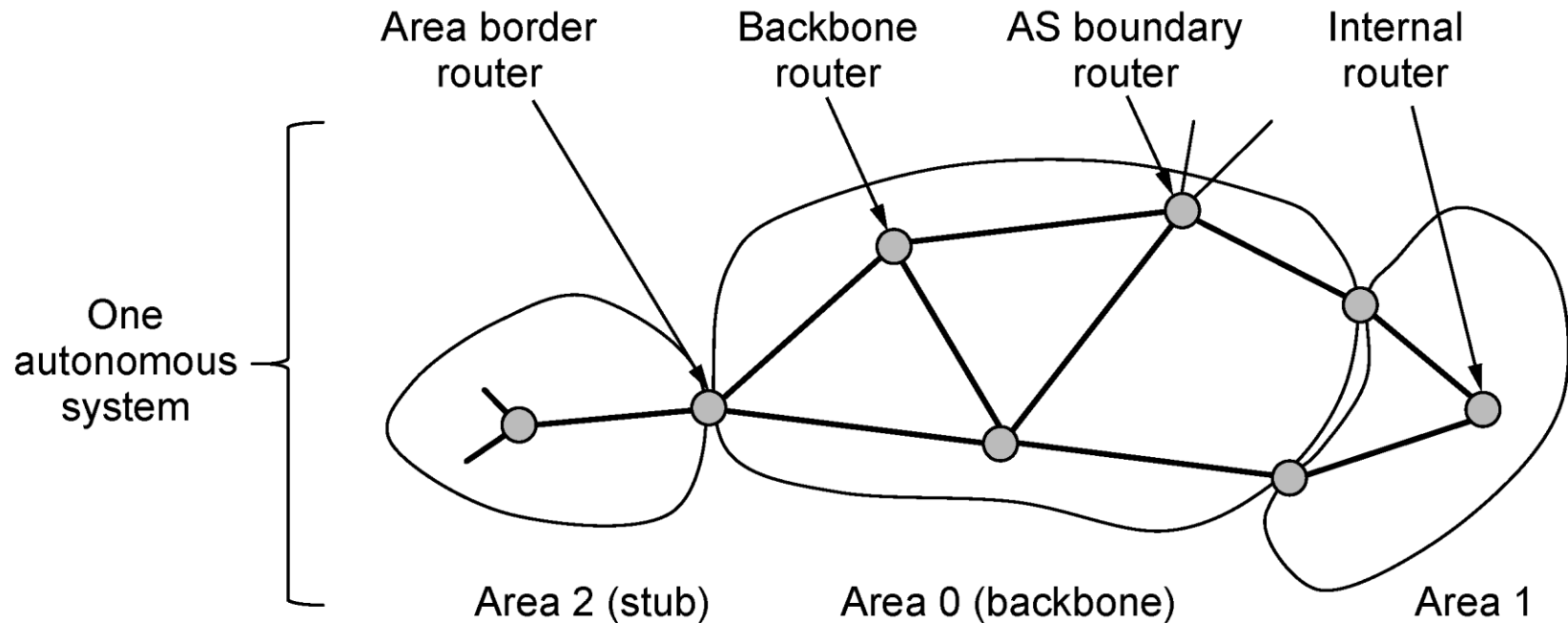


La relación entre áreas en OSPF.

## Tipos de áreas en un SA:

- Hay área que es red dorsal que tiene número 0.
- Hay áreas que se conectan a la red dorsal.
  - *Se puede entrar desde un área en el SA a cualquier otra área en el SA mediante la red dorsal.*
- La topología de la red dorsal no es visible fuera de esta.

# OSPF



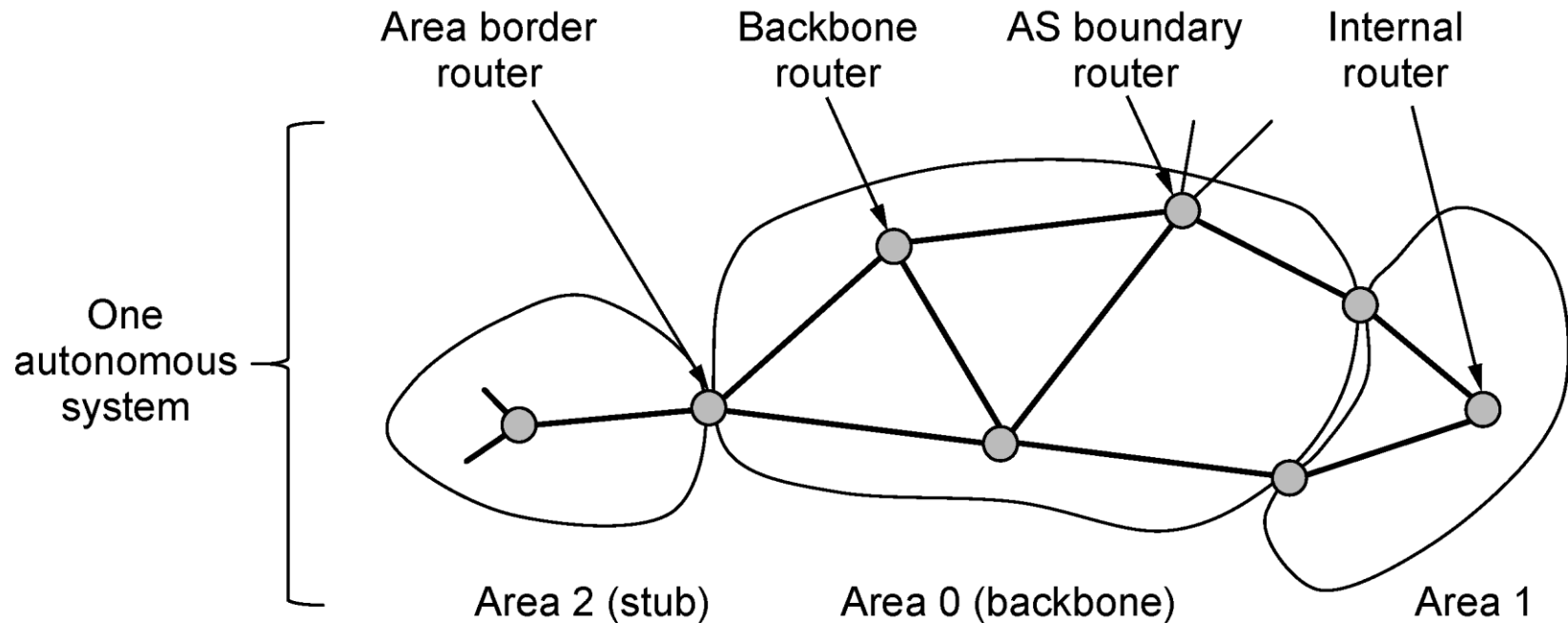
La relación entre áreas en OSPF.

## Clasificación de los enrutadores de un SA:

- **Enrutadores internos:** yacen completamente dentro de un área.
- **Enrutadores dorsales:** enrutadores en un área dorsal
- **Enrutador de borde de área (EBA).**

Es parte de una red dorsal y a la vez de una o más áreas.

# OSPF



La relación entre áreas en OSPF.

## Clasificación de los enrutadores de un SA:

- **Enrutador de borde de SA (EBSA).**
  - Inyecta en el área rutas a destinos externos en otros SA.
  - Ya lo veremos con cuidado cuando estudiemos BGP.

# OSPF

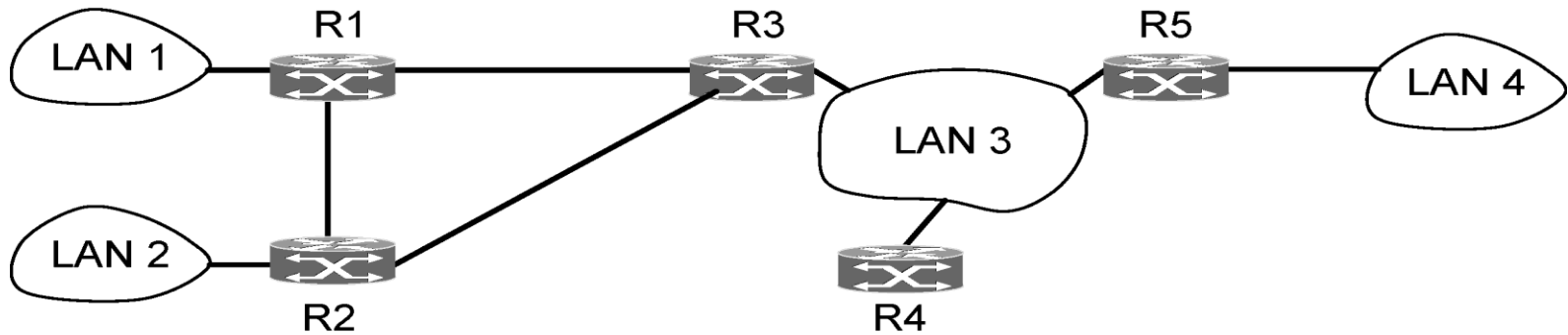
- **Aprenderemos:**

1. Organización de los sistemas autónomos en OSPF
- 2. Estructura de redes soportadas por OSPF**
  - **Para entender tipos de redes soportadas por OSPF y cómo se combinan entre sí.**
3. Distintos tipos de avisos de estado de enlace
4. Adaptación del algoritmo de estado de enlace en OSPF

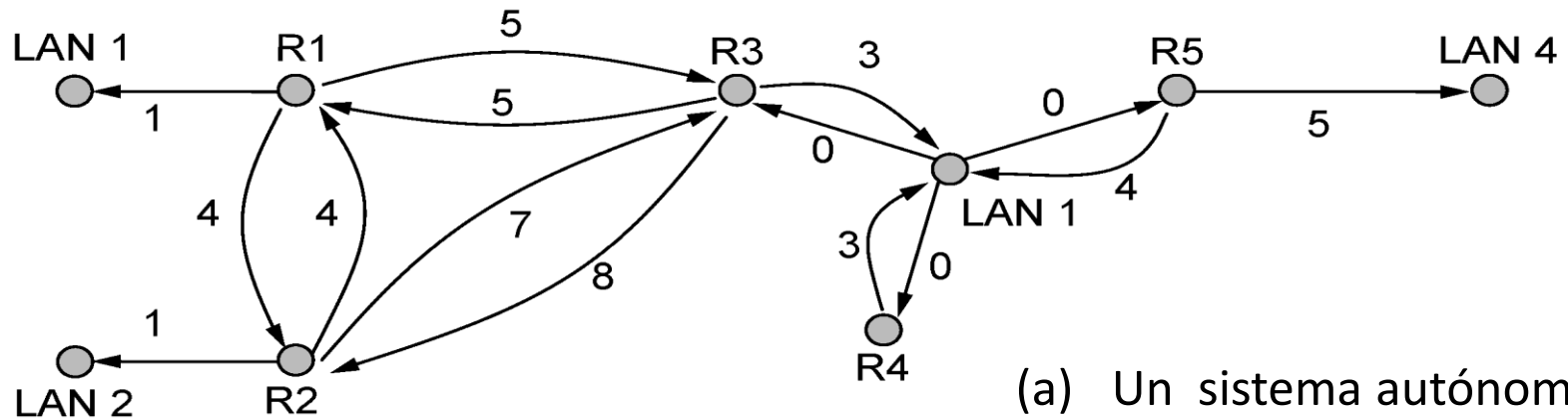
# OSPF

- **Organización de la red de un área:**
  - La forma de estructurar un área es considerando los tipos de redes soportadas por OSPF.
  - Se puede decir que un área permite acceder a un conjunto de LANs, cada una de ellas dada por un prefijo.

# OSPF



(a)

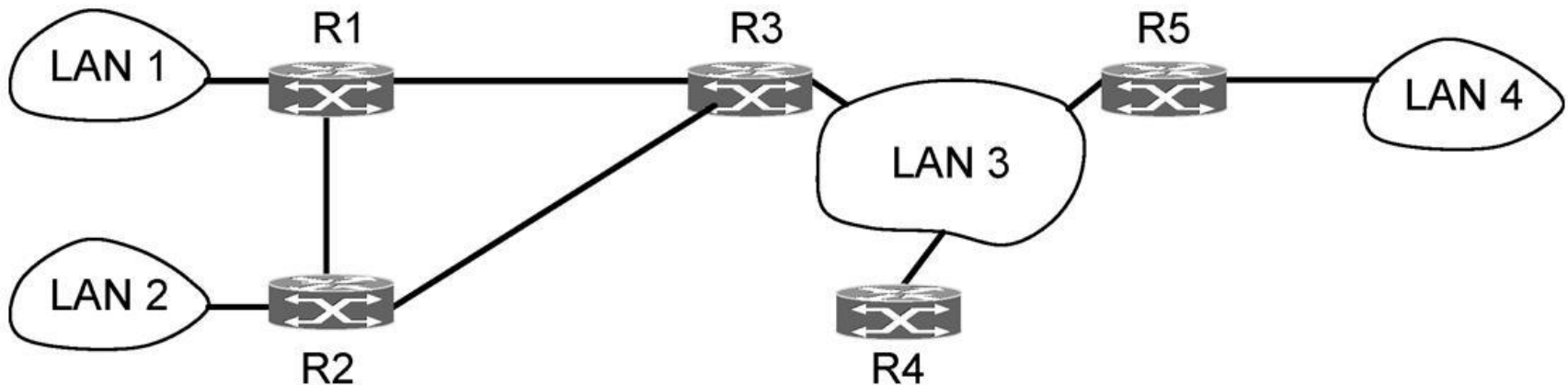


(b)

(a) Un sistema autónomo.  
(b) Un grafo que representa (a).

- Una red de multi-acceso se representa con un nodo para la red en sí.
  - Los arcos desde el nodo de la red a los enrutadores tienen peso 0.

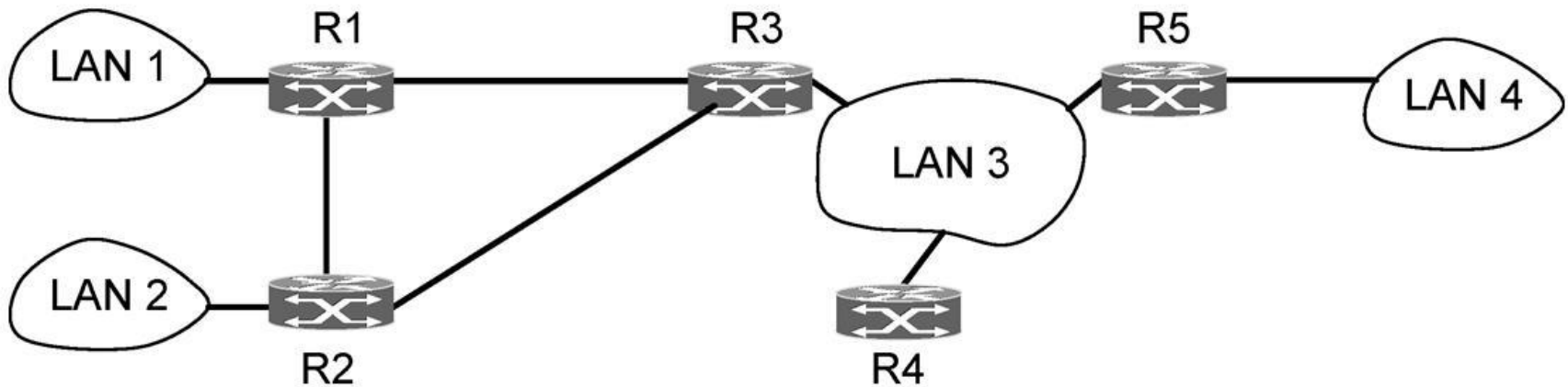
# OSPF



- **Tipos de conexiones y redes soporta OSPF:**

1. Las líneas punto a punto entre dos enrutadores.
2. Redes de multiacceso con difusión (p.ej. la mayoría de las LAN).
3. Redes de multiacceso con muchos enrutadores, cada uno de los cuales se puede comunicar directamente con los otros. (LAN 3 de la figura)

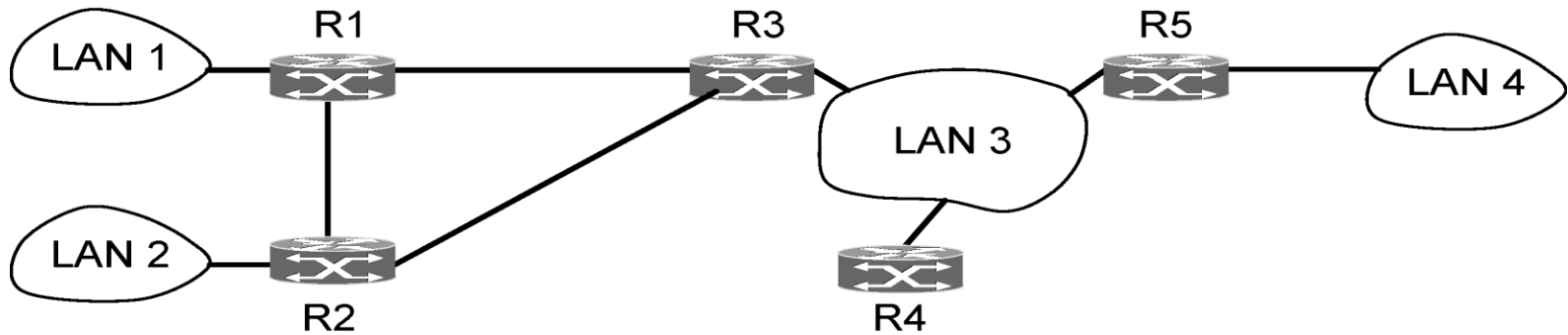
# OSPF



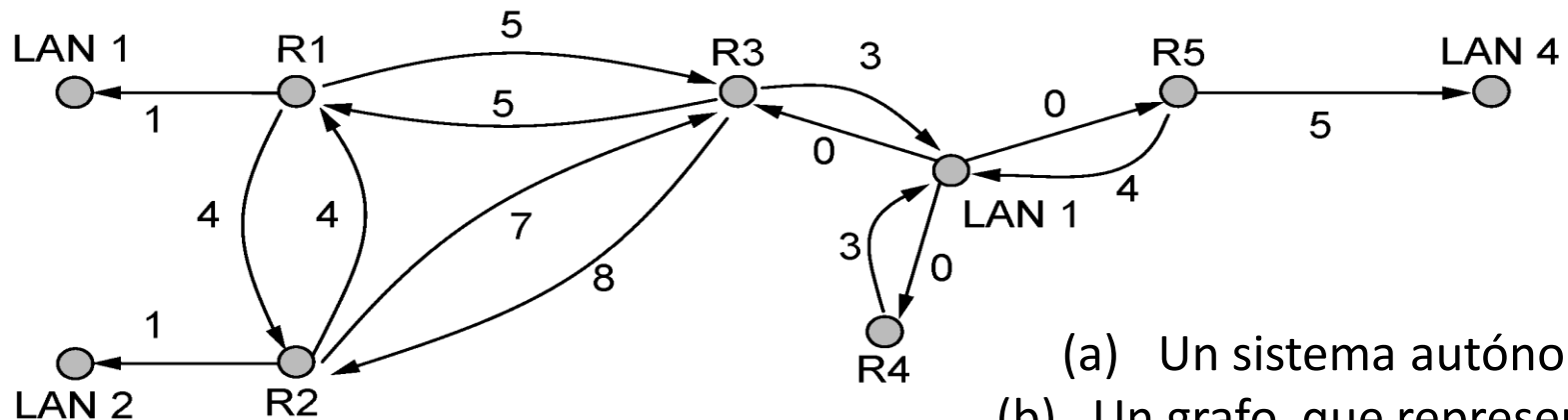
- ¿Cómo reflejar la red de arriba por medio de un grafo dirigido?



# OSPF



(a)



(b)

(a) Un sistema autónomo.

(b) Un grafo que representa (a).

- Los enrutadores se representan con nodos.
- A cada arco se le asigna un costo o retardo.
- Una conexión punto-punto entre dos enrutadores se representa por un par de arcos, uno en cada dirección.
  - Sus pesos pueden ser diferentes.

# OSPF

- **Aprenderemos:**

1. Organización de los sistemas autónomos en OSPF
2. Estructura de redes soportadas por OSPF
- 3. Distintos tipos de avisos de estado de enlace**
  - Para entender cómo la estructura jerárquica de un SA fuerza a ocultación de información, lo que da lugar a distintos tipos de avisos de estado de enlace.
4. Adaptación del algoritmo de estado de enlace en OSPF

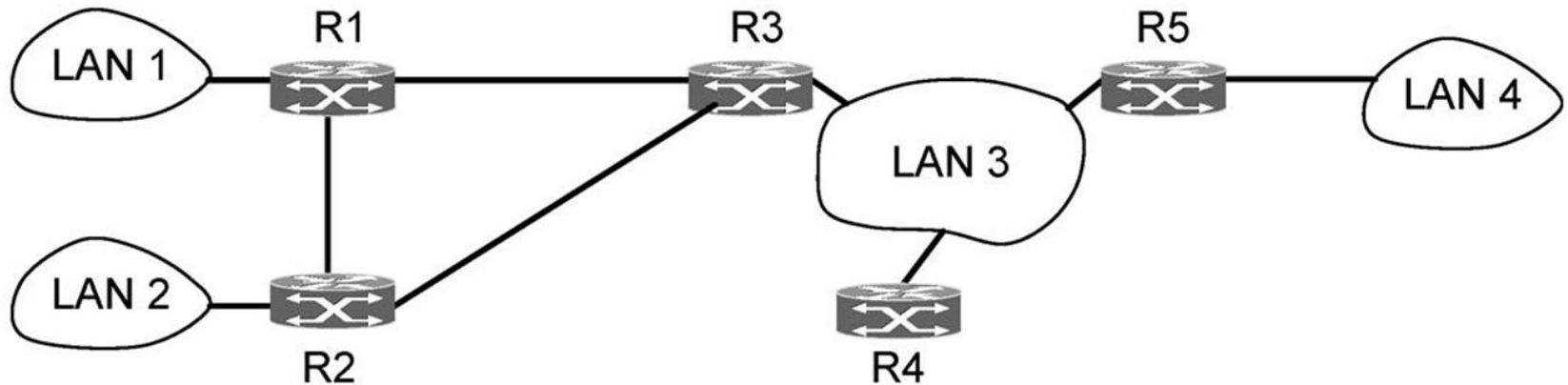
# OSPF

- Un tipo de **aviso de estado de enlace (AEE)** contiene el costo de un enrutador a todos sus vecinos – este tipo de paquetes fue visto en el protocolo de estado de enlace.
- **Situación:** Como un SA es jerárquico, un área no puede conocer la topología de otra área *A*, pero sí *información resumida* de *A*.
  - Dicha **información resumida de área** es otro tipo de aviso de estado de enlace.
- Los EBA **resumen** información de enrutamiento aprendida de un área,
  - para hacerla disponible en sus AEE que envían a las otras áreas.

# OSPF

- **Problema: ¿Cómo definir la información resumida de un área no dorsal?**
- **Solución:**
  - Un EBA  $E$  recibe **avisos de estado de enlace** de todos los enrutadores de una de sus áreas  $A$  y con esa información determina el **costo de alcanzar cada LAN** de  $A$ .
  - La **información resumida de  $A$**  contiene el costo de alcanzar cada LAN de  $A$ . Este paquete es puesto por el EBA  $E$  en la red dorsal para que llegue a las demás áreas.

# OSPF



**Ejemplo:** Supongamos que arriba se tiene un área y R4 es EBA y los pesos de todos los arcos son 1. No se muestra la red dorsal ni el resto de las áreas.

**El aviso de estado de enlace que envía R4 a la red dorsal contiene:**

- A la LAN 1: costo 3
- A la LAN 2: costo 3
- A la LAN 4: costo 2

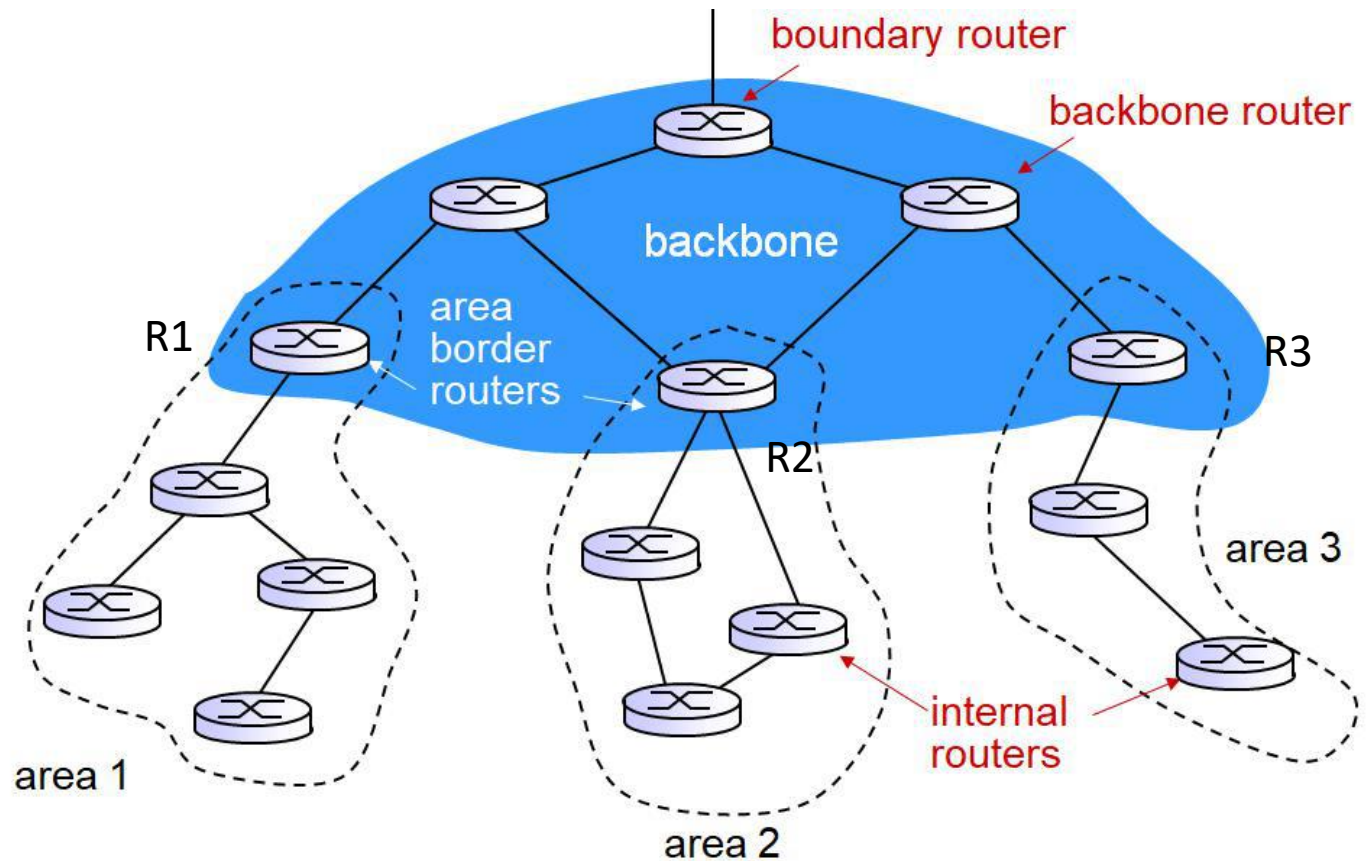
# OSPF

- **Situación:** La topología de la red dorsal no es visible fuera de esta.
  - Por lo tanto un enrutador que no es de la red dorsal no puede verla.
- Si  $E1$  y  $E2$  EBA, área  $A1$  conectada a  $E1$  pero no a  $E2$  y área  $A2$  conectada a  $E2$  pero no a  $E1$ .
  - Para un enrutador  $E$  fuera de la red dorsal la existencia de un camino entre  $E1$  y  $E2$  dentro de la red dorsal se representa como un arco uniendo  $E1$  y  $E2$ .

# OSPF

- **Problema:** ¿Cómo definir la información resumida de un área dorsal?
- **Solución:** Por medio de un grafo donde:
  - Todos los arcos unen pares de EBA
  - El peso de cada uno de estos arcos es el costo de camino óptimo (en el área dorsal) que une el par de EBAs.

# OSPF



- Sea la red dorsal de arriba y asuma que todos los arcos tienen peso 1.
- **Información resumida del área dorsal:**
  - Arco de R1 a R2 con costo: 2
  - Arco de R1 a R3 con costo: 4
  - Arco de R2 a R3 con costo: 2
  - Arco de R2 a R1 con costo: 2
  - Arco de R3 a R1 con costo: 4
  - Arco de R3 a R2 con costo: 2



# OSPF

- Información proveniente del área dorsal que recibe un área *A* por medio de un EBA *E*:
  - Resúmenes de las áreas no dorsales distintas de *A*
  - Resumen del área dorsal
  - **Consecuencias:** Con esto todos los enrutadores de un área pueden aprender a alcanzar todas las redes locales en el SA.

# OSPF

- **Consecuencias/impacto que tiene el envío de resúmenes por un EBA para los enrutadores:**
  - Esto permite que todos los enrutadores del área dorsal aprendan el costo de alcanzar todas las redes de cada área.
  - Todos los enrutadores aprenden a alcanzar todas las redes en el SA.
  - Cada enrutador tiene una topología de su área detallada y solo conoce el costo del camino más corto a las redes en las otras áreas.

# OSPF

- **Aprenderemos:**

1. Estructura de redes soportadas por OSPF
2. Organización de los sistemas autónomos en OSPF
3. Distintos tipos de avisos de estado de enlace
4. **Adaptación del algoritmo de estado de enlace en OSPF**
  - **Para comprender los cambios necesarios a hacer al algoritmo de estado de enlace para contemplar la estructura jerárquica de los SA y la distribución de carga entre varios caminos (de mejor costo) hacia un destino.**

# OSPF

- Al ejecutarse OSPF los enrutadores dentro de un área ejecutan una **adaptación del protocolo de estado de enlace**.
- Los **vecinos** de un enrutador en un área son:
  - Enrutadores conectados por líneas punto a punto con el enrutador.
  - Si el enrutador está en LAN de enrutadores, los otros enrutadores en la LAN son también vecinos suyos.

# OSPF

- **Problema:** ¿Cómo conviene que sea el envío de mensajes Hello?
- **Solución:**
  - Cuando un enrutador se inicia, envía **mensajes Hello** a:
    - todas las líneas punto a punto
    - Al grupo de todos los enrutadores de su LAN si está en una LAN de enrutadores.
  - De las respuestas cada enrutador aprende quiénes son sus vecinos.

# OSPF

- **Problema: ¿Cómo se fijan los pesos de los enlaces?**
- **Solución:** OSPF no fija una política de cómo los pesos de los enlaces son fijados.
  - Este es el trabajo del administrador de la red.
- OSPF trabaja intercambiando información entre enrutadores adyacentes.
  - Estudiaremos cómo se hace esta tarea.
  - Pero antes veremos algunos conceptos.
- Ahora se estudia cómo hacer la distribución de AEE.

# OSPF

- Cada enrutador tiene **base de datos de estado de enlace (BDEE)**.
  - La BDEE contiene todos los AEE que el enrutador ha recibido.
  - La BDEE debe ser creada, y luego mantenerse.
  - Dentro de un área cada enrutador debe tener el mismo grafo (BDEE) para construir la tabla de re-envío.
- **Consecuencias de tener BDEE:**
  - En la BDEE se guarda información que un enrutador puede intercambiar con sus vecinos.
  - La información de una BDEE puede ser **actualizada** luego que un enrutador recibe AEE de vecinos.

# OSPF

- **Tipos de paquetes usados para intercambio de información entre enrutadores adyacentes:**
  - **Paquete de descripción de base de datos (PDBD):** llevan resumen de la descripción de *todos* los AEE de la BDEE del enrutador emisor,
    - o sea, números de secuencia de los AEE del enrutador emisor.
    - El receptor puede determinar cuáles AEE de ese grupo necesita, comparando número de secuencia de un AEE con número de secuencia de AEE (del mismo enrutador) que ya tiene.
  - **Paquete de pedido de estado de enlace (PPEE):** se usan para solicitar AEEs.
  - **Paquete de actualización de estado de enlace (PAEE):** para mandar AEE asociado al enrutador emisor. Estos AEE tienen número de secuencia.
    - Usando dicho número de secuencia el receptor puede ver si un AEE es más nuevo o más viejo que el que ya tiene.
  - **Paquete de confirmación de estado de enlace (PCEE):** para confirmar los PAEE.



# OSPF

- **Problema:** ¿cómo actualizan sus BDEE los enrutadores?
- **Solución:** Dos enrutadores vecinos deben **sincronizar sus BDEE**.
  - Un vecino es el **maestro** y el otro es el **esclavo**.
  - El maestro controla el intercambio de PDBD.
  - Se intercambian PDBD, PPEE, PAEE, PCEE para asegurar que ambos vecinos tienen igual información en sus BDEE.

# OSPF

- Usando **inundación** cada enrutador informa a todos los otros enrutadores de su área de sus enlaces a todos los otros enrutadores y redes y el costo de esos enlaces.
  - Esto permite a un enrutador construir el grafo de su área.
  - Es una inundación especial basada en la idea de sincronización de pares de enrutadores (figura 33).
- La red dorsal hace este trabajo también.
- **Este intercambio se hace:**
  - Periódicamente
  - Cuando una línea se cae, o regresa o su costo cambia.

# OSPF

- **Problema:** es ineficiente tener cada enrutador en una LAN (de enrutadores) que intercambie mensajes con todos los otros enrutadores de la LAN.
  - ¿Cómo hacer para evitar todo este trabajo?
- **Solución:** Un enrutador de la LAN se elige como **enrutador designado**.
  - El enrutador designado es quien intercambia mensajes con todos los enrutadores de la LAN - mediante sincronización.

# OSPF

- **Consecuencias para enrutadores internos a un área de organizar jerárquicamente un SA:**
  - Enrutadores internos a un área no van a conocer detalles acerca de la topología de otras áreas.
  - Los AEE de enrutadores que no son EBA no dejan el área en el que se originan.
- Un EBA necesita los grafos para todas las áreas a las cuales está conectado.

# OSPF

- Para un enrutador  $R$  dentro de un área se puede ejecutar el **algoritmo de Dijkstra**.
  - Para esto usar la BDEE de  $R$ .
  - Dijkstra calcula el camino más corto desde  $R$  a cualquier otro enrutador de su área y red en el SA entero.
- Sin embargo, queremos que si hay varios caminos más cortos a un destino, que se pueda balancear la carga entre ellos.
- **Problema: ¿Cómo es un algoritmo adecuado para ello?**

# OSPF

- **Solución:** OSPF recuerda el conjunto de caminos más cortos entre dos nodos **y durante el envío de paquetes el tráfico se divide entre ellos.**
  - Para esto se usa una adaptación especial del algoritmo de Dijkstra que usa una **cola de prioridades.**
  - **¿Cómo habría que modificar la tabla de enrutamiento para esto?**
  - Es necesario tener para un destino varias líneas de salida.

# OSPF

- **Un EBA ejecuta Dijkstra adaptado** para el grafo de cada área separadamente.
- **Conclusión:** OSPF es valioso porque ayuda a balancear la carga.
  - Se le llama **ECMP** (**multicamino de igual costo**)

# OSPF

- **Para enviar un paquete de un área a una red en otra área:**
  1. El paquete viaja de su red (área) local al área dorsal;
  2. luego cruza el área dorsal; y
  3. luego viaja del área dorsal a la red de destino.
- Recordar que para las tablas de re-envío se usa CIDR.