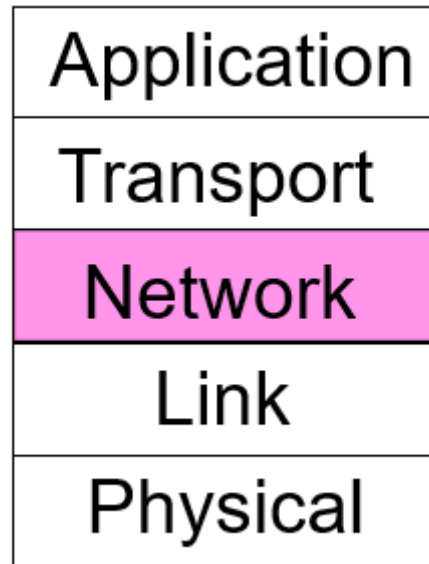


# Capítulo 4

## La Capa de Red – parte 3



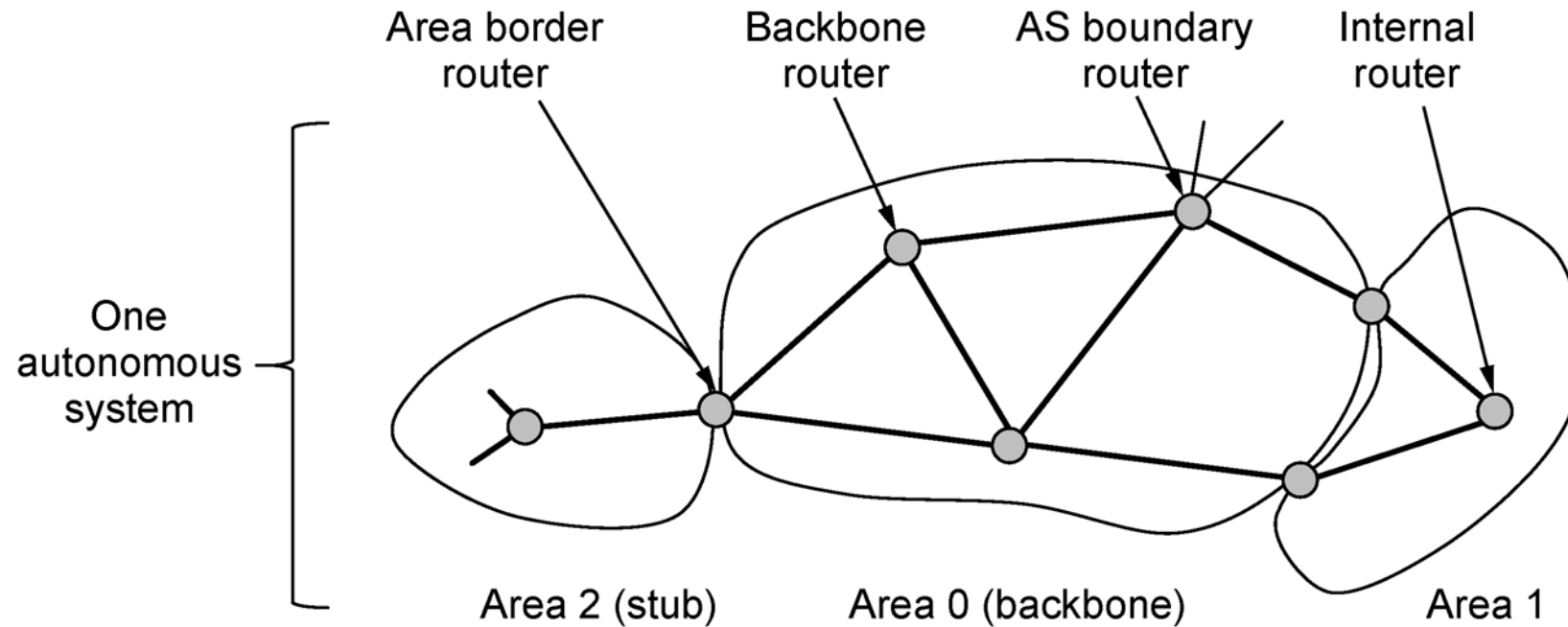
# Protocolo de enrutamiento para sistemas autónomos

- ¿Por qué los protocolos de enrutamiento estudiados no son adecuados para internet? En la tabla de IP pongo las redes locales
- **Ayuda:** ¿en qué sentido son inadecuados para internet? Tener en cuenta las diferencias de trabajar con IP.
- Alguna optimización o mejora que se puede hacer a protocolos anteriores. Usar varios caminos en vez de uno solo
- Plantear requisitos para un protocolo de enrutamiento de internet. Se ajuste a cambios en la topología de la red

# Protocolo de enrutamiento para sistemas autónomos

- El protocolo de internet que cumple los requisitos anteriores se llama OSPF (open shortest path first). Existe desde 1988.
- **¿Cómo estructurar un sistema autónomo de gran tamaño?**
- **Ayuda:** Tener en cuenta lo que vimos en IP y en enrutamiento jerárquico.

# OSPF



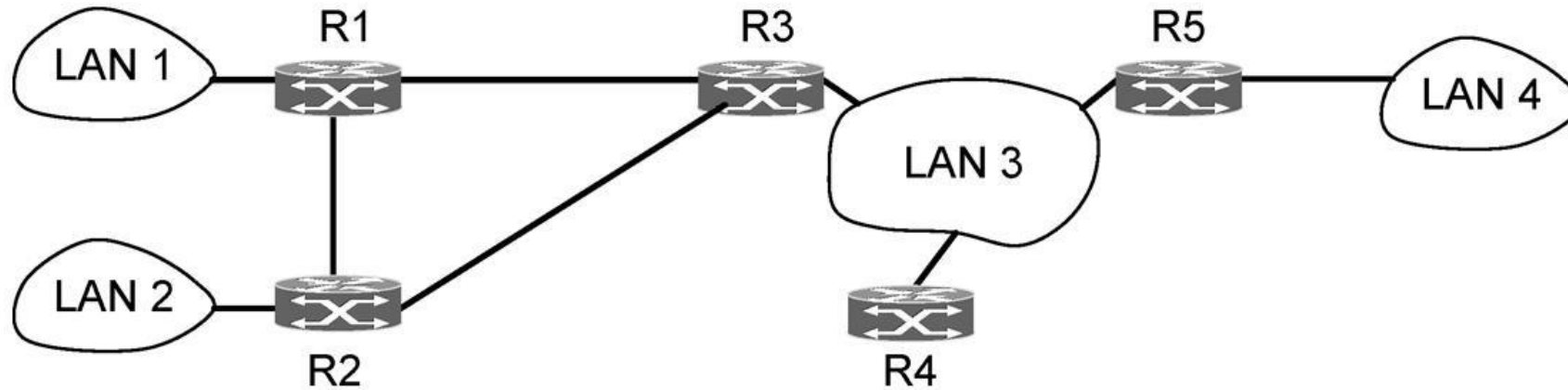
La relación entre áreas en OSPF.

- Tipos de áreas
- Tipos de enrutadores
- Consecuencias de esta organización

# OSPF

- ¿Qué tipos de redes conviene tener dentro de un área?

# OSPF



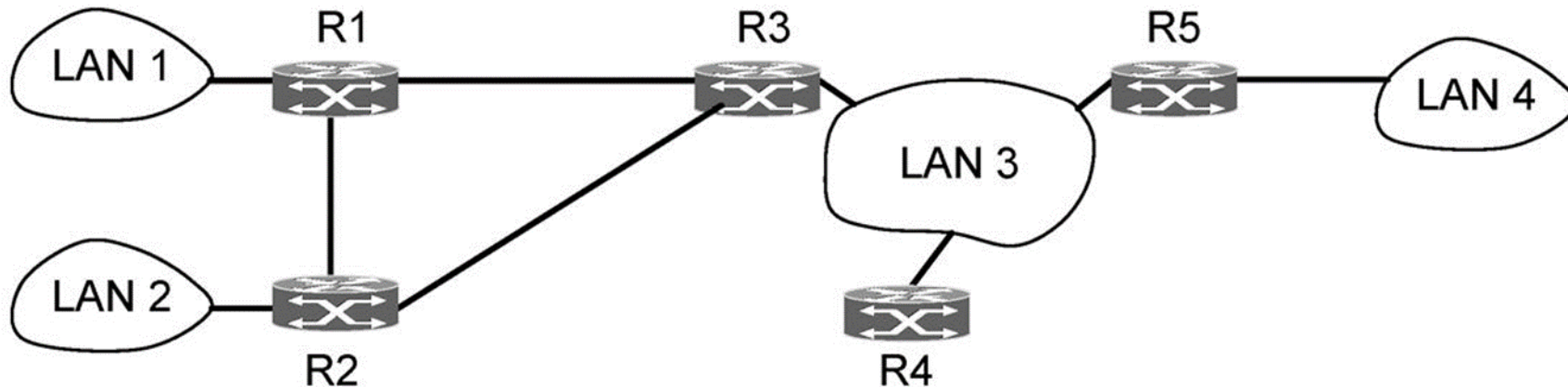
Esto podría ser un área

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

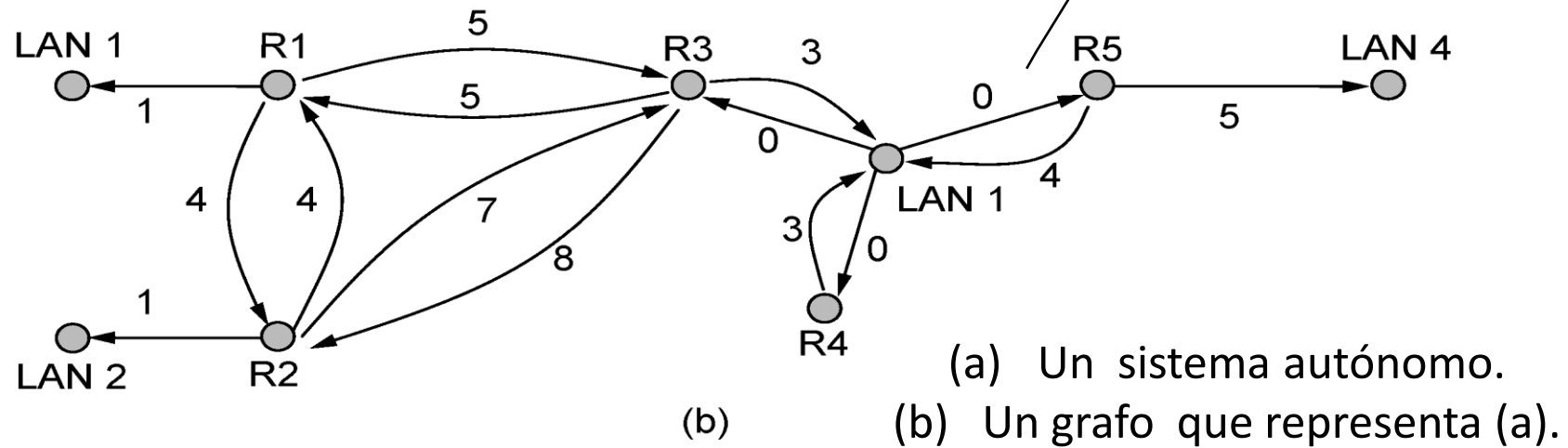
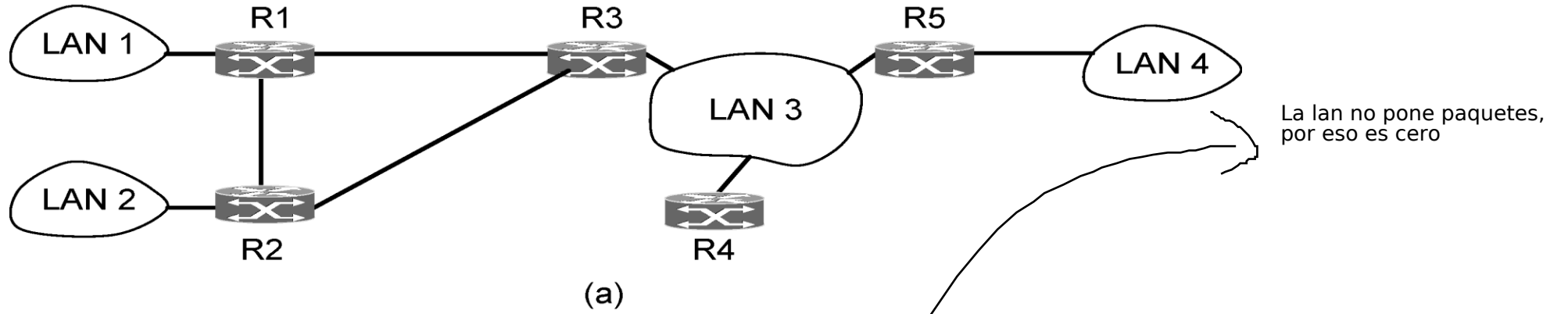
1. Las líneas punto a punto entre dos enrutadores. DE R2 A R3
2. Redes de multiacceso con difusión (p.ej. la mayoría de las LAN). LAN 1,2 Y4
3. Redes de multiacceso con muchos enrutadores, cada uno de los cuales se puede comunicar directamente con los otros. (LAN 3 de la figura) LAN 3

# OSPF

- OSPF necesita operar sobre un grafo de un Sistema autónomo.
- **¿Cómo reflejar la red de abajo por medio de un grafo dirigido?**
  - ¿como reflejar los distintos tipos de redes, los distintos tipos de conexiones?



# OSPF



- Representación de enrutador, conexión punto a punto
- Representación de red multiacceso y de LAN.



# OSPF

- Cada enrutador necesita aprender cuál es la topología del sistema autónomo donde se encuentra
  - para poder calcular las rutas más cortas y su tabla de reenvío.
- Pero cuando el sistema autónomo es muy grande un enrutador no puede aprender todos los detalles de la topología de la red; porque sería demasiada información.
- **¿qué informaciones necesita aprender un enrutador que no es de borde de área?**
  - ¿Qué informaciones de su área?
  - ¿Qué informaciones de las otras áreas no dorsales?
  - ¿Qué informaciones del área dorsal?

# OSPF

- Como un sistema autónomo es jerárquico, un área no puede conocer la topología de otra área  $A$ , pero sí *información resumida* de  $A$ .
- **Informaciones de otras áreas:**
  - Para cada enrutador de borde de área de  $A$  se conocen los costos de alcanzar todas las LAN en  $A$  (por caminos más cortos).
- **Informaciones del área dorsal:**
  - Para cada enrutador de borde de área del área dorsal se conocen los costos de ir a los otros enrutadores de borde de área del área dorsal (por un camino más cortos).

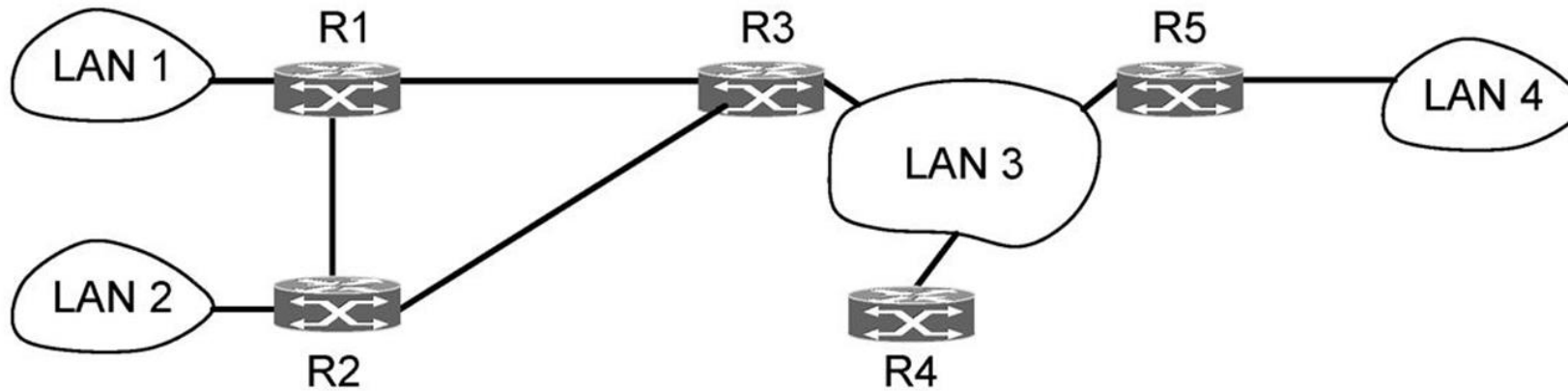
# OSPF

- **¿Qué tipos de avisos de estado de enlace construye un enrutador?**
  - Un enrutador interno de un área no dorsal.
  - Un enrutador de borde de área
    - Considerar que estos avisos pueden contener información resumida de determinadas áreas.

# OSPF

- Si enrutador interno a área solo conectado punto a punto con otros enrutadores,
  - el aviso de estado de enlace es como en protocolo de estado de enlace.
- Si enrutador de borde de área:
  - Resumen de su área (i.e. costo mínimo de ir de él a las LAN de su área)
  - Resumen del área dorsal (i.e. costos mínimos de ir de un enrutador de borde de área a otro)
  - Aviso de estado de enlace dentro del área no dorsal donde se encuentra.

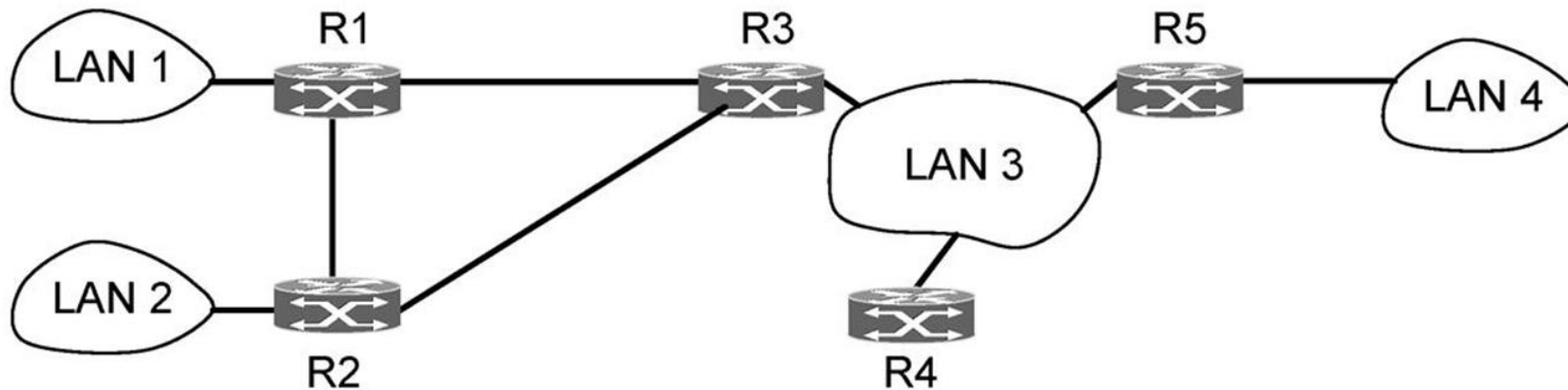
# OSPF



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

**¿Cuál va a ser el aviso de estado de enlace que envía R4 a la red dorsal?**

# OSPF



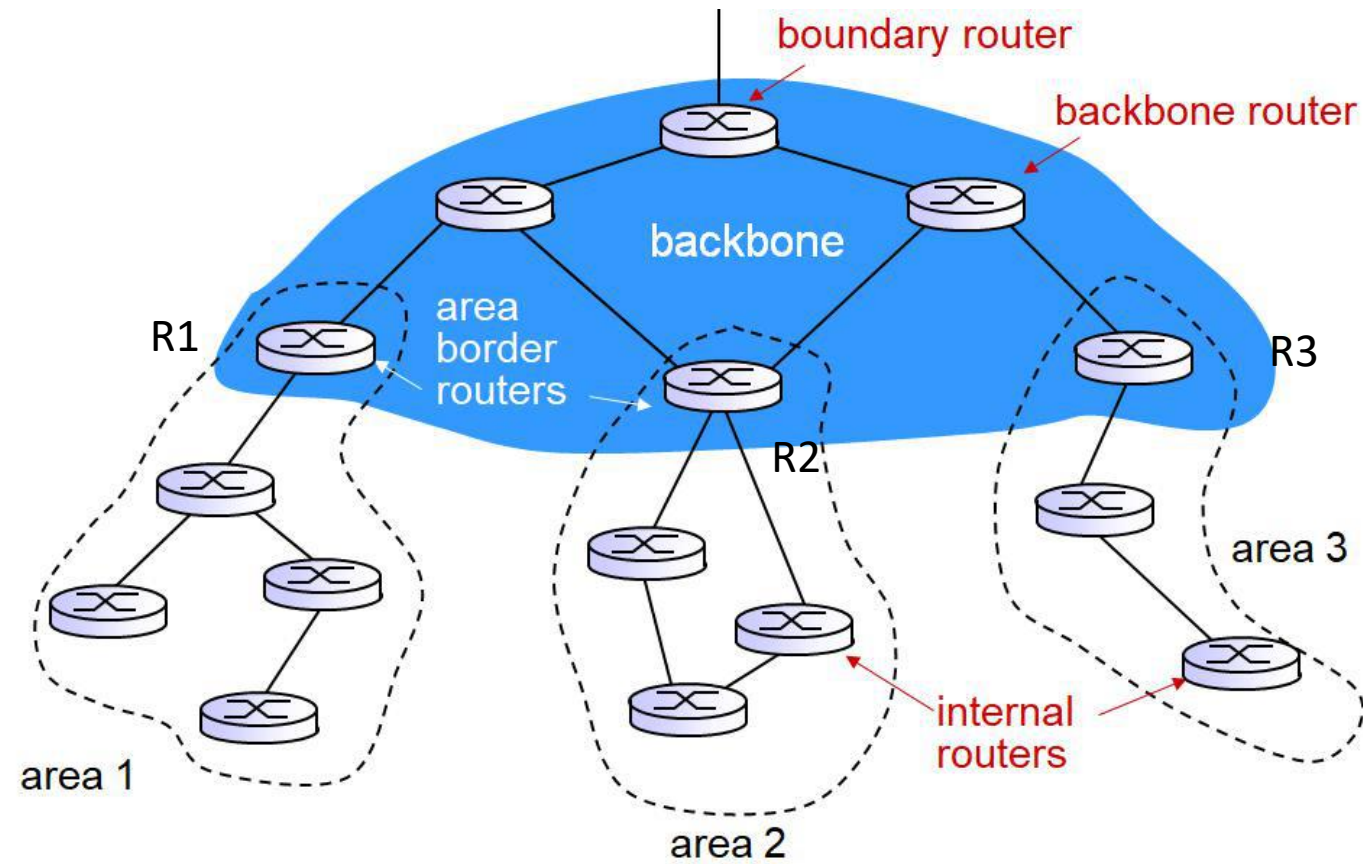
**Ejemplo:** Supongamos que arriba se tiene un área y R4 es EBA y los pesos de todos los arcos son 1. No se muestra la red dorsal ni el resto de las áreas.

**¿Cuál va a ser el aviso de estado de enlace que envía R4 a la red dorsal?**

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

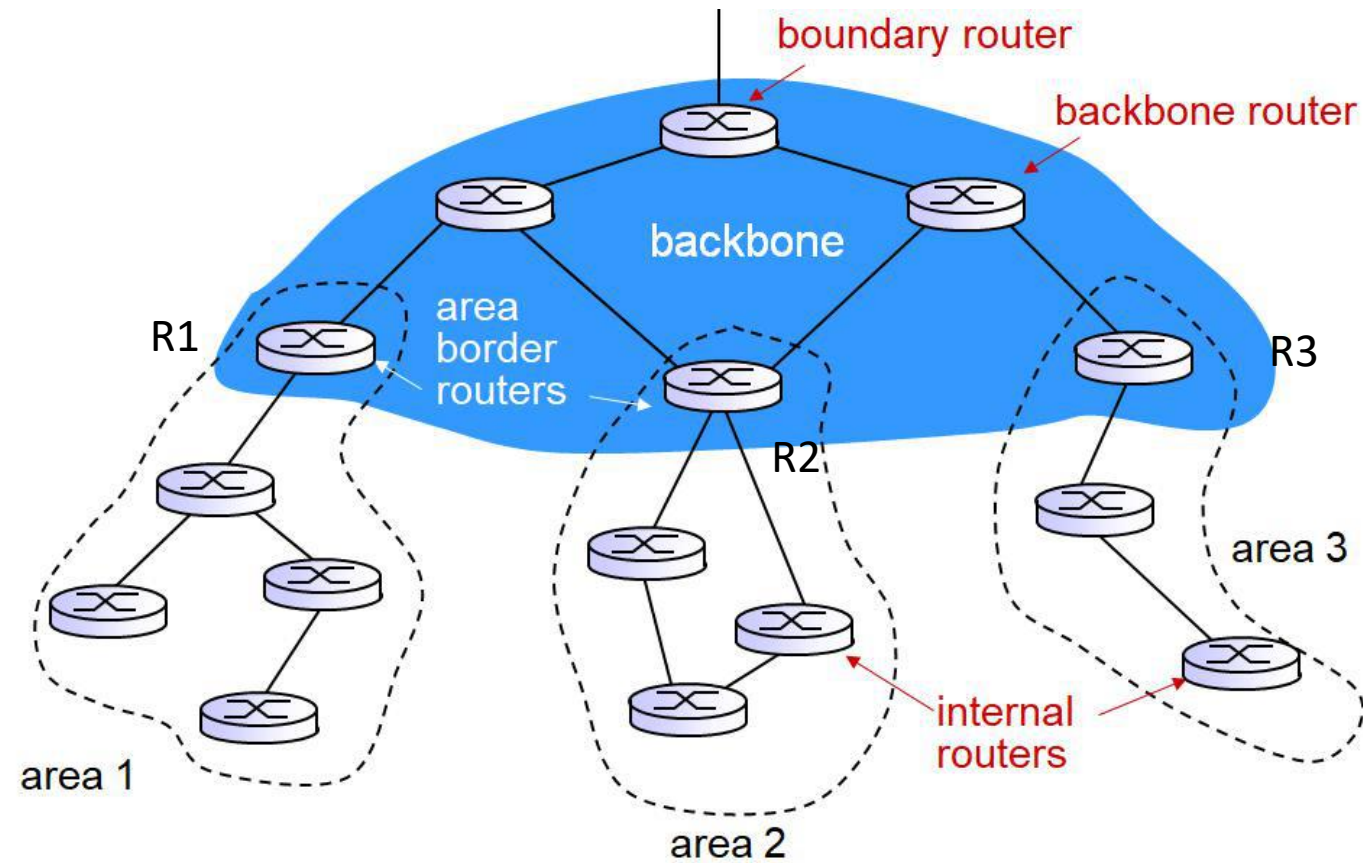
# OSPF

enrutadores de borde de area R1 R2 y R3



- Sea la red dorsal de arriba y asuma que todos los arcos tienen peso 1.
- ¿Cuál es la Información resumida del área dorsal?

# 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

- Faltó decir cómo son avisos de estado de enlace de enrutadores que están en LAN de enrutadores. ¿Alguna sugerencia?

# OSPF

- **Problema:** es ineficiente tener cada enrutador en una LAN (de enrutadores) que intercambie información 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

# OSPF

- ¿Por dónde viajan avisos de estado de enlace?
- **Ayuda:** considerar los siguientes casos:
  - Avisos de resumen de área no dorsal.
  - Avisos de resumen de área dorsal.
  - Avisos de enrutadores internos de área.

# OSPF

- ¿Quiénes son los vecinos de un enrutador?

# OSPF

- **¿Quiénes son los vecinos de un enrutador?**
- Enrutadores conectados por líneas punto a punto con enrutador.
- Enrutadores que están en la misma LAN de enrutadores que enrutador.
  - Esto si enrutador está en LAN de enrutadores.

# OSPF

- **¿Cómo aprende un enrutador quiénes son sus vecinos?**
- **Ayuda:** recordar cómo se hacía esto con enrutamiento de estado de enlace, pero adaptarlo a la estructura de las redes de OSPF.

# 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.
  - Es el trabajo del administrador de la red.

# OSPF

- ¿Dónde se guardan los avisos de estado de enlace que recibió y creó un enrutador?
- Cada enrutador tiene **base de datos de estado de enlace (BDEE)**.
  - La BDEE contiene todos los AEE que el enrutador ha recibido.
  - 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 actualización de estado de enlace (PAEE)**: para mandar AEE con número de secuencia.
    - El receptor puede ver si el AEE es más nuevo o más viejo que el que ya tiene.
  - **Paquete de confirmación de estado de enlace (PCEE)**: para confirmar los PAEE.
  - **Paquete de descripción de BDEE (PDBD)**: llevan resumen de la descripción de *todos* los AEE de la BDEE de enrutador emisor.
    - Tiene pares: (enrutador emisor, número de secuencia)
    - El receptor puede determinar cuáles AEE de ese grupo necesita.
  - **Paquete de pedido de estado de enlace (PPEE)**: se usan para solicitar AEEs.

# OSPF

- **Problema: ¿cómo actualizan sus BDEE los enrutadores?**
- Sugerir solución en base a lo que saben.

# 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.
- Se usa una **inundación especial** basada en la idea de sincronización de pares de enrutadores.
- Este tipo de trabajo se hace en las áreas internas y en el área dorsal.
- **Este intercambio se hace:**
  - Periódicamente
  - Cuando una línea se cae, o regresa o su costo cambia.

# OSPF

- ¿Una vez que un enrutador tiene una BDEE actualizada qué hace a continuación?

# OSPF

- ¿Una vez que un enrutador tiene una BDEE actualizada qué hace a continuación?
- Usando la BDEE se construye el grafo del sistema autónomo para el enrutador.
- Se ejecuta el algoritmo de Dijkstra usando ese grafo.
  - Es una adaptación especial del algoritmo de Dijkstra porque se calcula para cada destino el conjunto de caminos más cortos.

# OSPF

- Luego con la información obtenida se calcula la tabla de reenvío que va a tener para cada destino una lista de líneas de salida
  - correspondientes a todos los caminos del menor costo.
- Luego el reenvío funciona un poco diferente:
  - la carga hacia un destino se balancea por las diferentes líneas que llevan a los varios caminos de menor costo.

# Enrutamiento en internet

- Ya hemos definido un protocolo de enrutamiento para sistemas autónomos de internet.
- ¿Es esto suficiente para el enrutamiento en internet?

# Enrutamiento en internet

- Ya hemos definido un protocolo de enrutamiento para sistemas autónomos de internet.
- **¿Es esto suficiente para el enrutamiento en internet?**
- No porque puede ser necesario comunicar máquinas que están en diferentes sistemas autónomos.



# Enrutamiento en internet

- ¿En qué se pueden diferenciar distintos sistemas autónomos?

# Enrutamiento en internet

- ¿En qué se pueden diferenciar distintos sistemas autónomos?
- Pueden tener distintos protocolos de enrutamiento: p.ej. OSPF, RIP, etc.
- Pueden operar con distintos tipos de direcciones: p.ej. IPv4, IPv6, etc.
- Pueden soportar distintos tamaños máximos de paquetes en diferentes enlaces de redes en internet.

# Enrutamiento en internet

- Las tablas de reenvío deben permitir mandar mensajes entre máquinas conectadas a SA diferentes.
- Los enrutadores que conectan SA diferentes se llaman **puertas de enlace** o **enrutadores multiprotocolo**.
- Un **protocolo de puerta de enlace exterior** permite agregar información a ser usada con ese fin a las tablas de reenvío de los enrutadores.
  - El enrutamiento de PPEE se preocupa de establecer las rutas a usar (que pasan por diferentes SA) para permitir que se comuniquen máquinas pertenecientes a distintos SA.

# Enrutamiento en internet

- ¿Para enrutamiento entre SA se pueden encontrar caminos óptimos?
- **Ayuda:** tener en cuenta la diversidad de los SA.

# Enrutamiento en internet

- ¿Para enrutamiento entre SA se pueden encontrar caminos óptimos?
  - Cada SA corre su propio protocolo interno y usa cualquier esquema para asignar métricas a los caminos.
  - Por lo tanto, es **imposible calcular costos de caminos** significativos para caminos que cruzan varios SA.
- ¿Qué tipo de información sobre rutas entre SA puede manejar un PPEE?

# Enrutamiento en internet

- ¿Para enrutamiento entre SA se pueden encontrar caminos óptimos?
  - Cada SA corre su propio protocolo interno y usa cualquier esquema para asignar métricas a los caminos.
  - Por lo tanto, es **imposible calcular costos de caminos** significativos para caminos que cruzan varios SA.
- ¿Qué tipo de información sobre rutas entre SA puede manejar un PPEE?
  - Considerar **caminos formados por SA** para ir de un origen a un destino.

# Enrutamiento en internet

- ¿Los PPEE deben cumplir algún requisito en cuanto a los caminos que buscan?
  - Que no se puedan encontrar caminos más cortos no significa que cualquier camino sirva.

# Enrutamiento en internet

- ¿Los PPEE deben cumplir algún requisito en cuanto a los caminos que buscan?
  - Que no se puedan encontrar caminos más cortos no significa que cualquier camino sirva.
  - Los caminos deben ser libres de ciclos.
  - Los caminos deben respetar las **políticas de los SA** que atraviesan.
  - Las **políticas de un SA** son *reglas* que se refieren a *preferencias* de enrutamiento y a *limitaciones* de enrutamiento.



# Enrutamiento en internet

- ¿En dónde se ejecutan los PPEE?

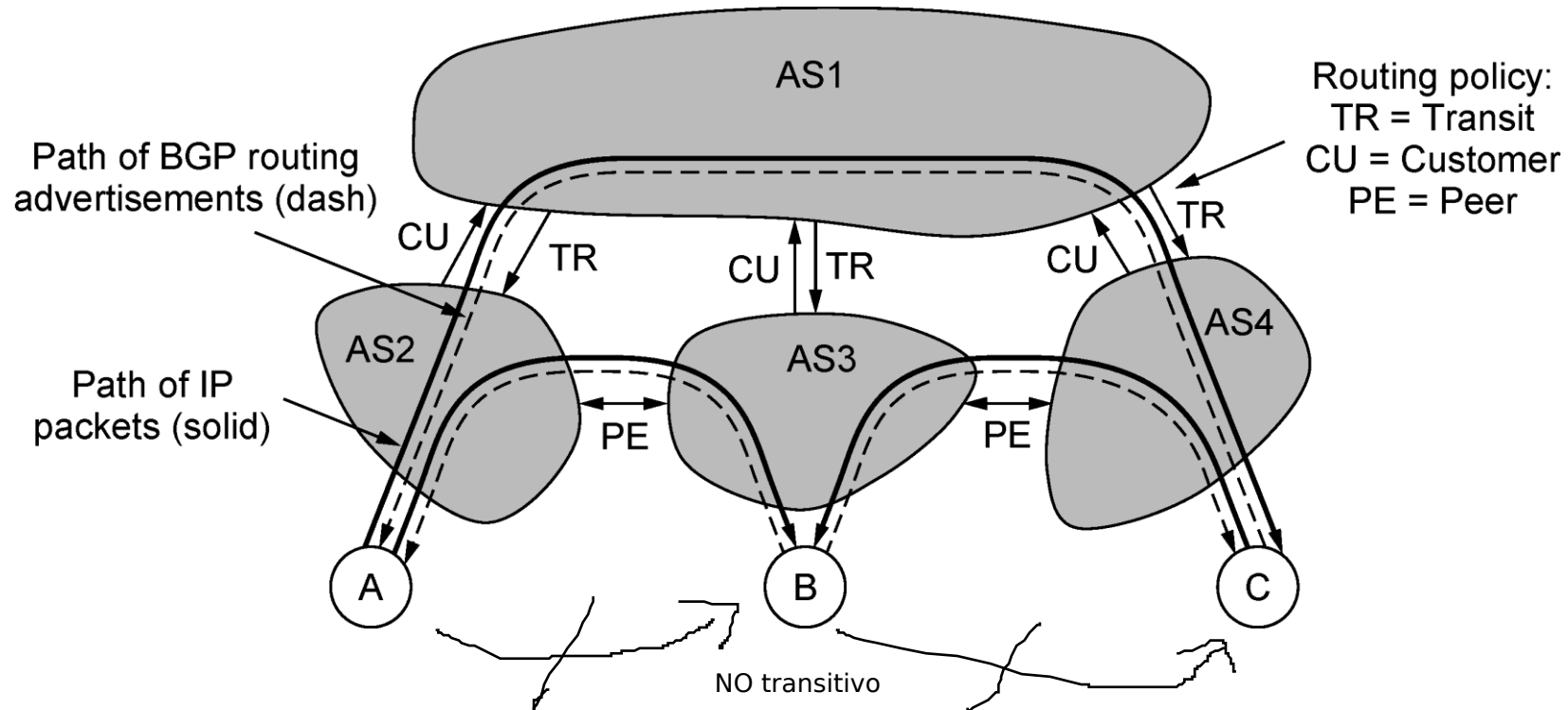
# Enrutamiento en internet

- **¿En dónde se ejecutan los PPEE?**
  - En las puertas de enlace o en terminología de OSPF en enrutadores de borde de SA.
  - En los enrutadores.
- **¿Qué tareas puede hacer un enrutador para un PPEE?**

# Enrutamiento en internet

- ¿En dónde se ejecutan los PPEE?
  - En las puertas de enlace o en terminología de OSPF en enrutadores de borde de SA.
  - En los enrutadores.
- ¿Qué tareas puede hacer un enrutador para un PPEE?
  - Tiene que **hacer una elección entre** varias rutas a un destino;
  - va a **elegir la mejor** de acuerdo con sus propias políticas locales y esta va a ser la **ruta que avisa**.
  - Le dice a sus vecinos el camino exacto que está usando para cada destino.

# Relaciones entre SA



- Relación de proveedor-consumidor: entre AS1 y AS2, entre AS1 y AS3, entre AS1 y AS4
- Relación de compañerismo: entre AS2 y AS3, entre AS3 y AS4

# Relaciones entre SA

- **Responder:**

- ¿Qué tipo de rutas publica un PSI proveedor? ¿Y un PSI consumidor?
- ¿Qué tipo de rutas publica un PSI a sus compañeros?

# BGP

- Internet usa un PPEE llamado **BGP** (**Border Gateway Protocol**)
- **Algunos detalles de BGP:**
  - En BGP los **destinos** son **prefijos** que representan una subred o una colección de subredes – subred en el sentido de IP.
  - En BGP un SA debe avisar prefijos a otros SA.
  - En BGP un SA es identificado con un número globalmente único llamado **número de sistema autónomo**.

# BGP

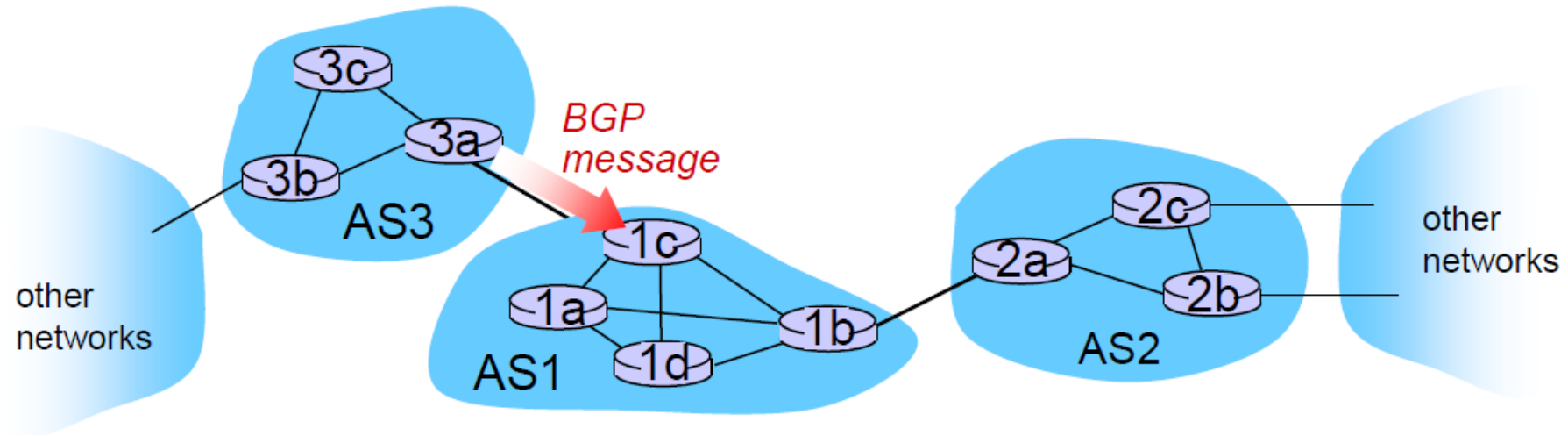
- ¿Qué información conviene que contenga la ruta a un prefijo?

# BGP

- ¿Qué información conviene que contenga la ruta a un prefijo?
- En BGP la ruta contiene:
  - prefijo
  - **AS-PATH**: son los SA por los cuales el aviso del prefijo ha pasado.
  - **NEXT-HOP**: es el IP de la interfaz del enrutador que comienza el AS-PATH hacia el destino.



# BGP



## ❖ Ejemplo de ruta:

- Prefix:138.16.64/22 ; AS-PATH: AS3 AS131 ;  
NEXT-HOP: 201.44.13.125
- NEXT HOP es la dirección IP del enrutador 3a que lleva a 1c.

# BGP

- **¿Cómo hacer para propagar información de rutas?**
- **Ayuda:**
  - ¿Entre qué tipos de máquinas se propaga la información de rutas?
  - ¿Cómo es el volumen de esta información, chico o grande? ¿puede ir en un solo paquete?
  - ¿Cómo tiene que ser la comunicación de esta información? (si se puede perder información de rutas)
  - ¿Qué protocolo que ya conocen serviría para hacer este trabajo?

# BGP

- **Solución:** En BGP pares de enrutadores *intercambian información* de rutas sobre **conexiones TCP semipermanentes** usando el puerto 179.
  - Hay típicamente una conexión BGP TCP para
    - cada enlace que conecta directamente dos **enrutadores EBSA** (o **enrutadores BGP**) en dos SA diferentes y
    - para enlaces entre enrutadores dentro del SA
  - Un poco de nomenclatura:
    - Los enrutadores que participan en la conexión TCP se llaman **compañeros BGP**.
    - La conexión TCP con todos los mensajes BGP enviados por la conexión se llama **sesión BGP**.
    - Sesiones **iBGP** y sesiones **eBGP**.

# BGP

- En BGP un enrutador guarda las rutas con que trabaja en repositorio llamado **base de información de enrutamiento (BIE)**.
- **¿Qué tipos de mensajes conviene usar en un protocolo como BGP?**
  - **Ayuda:**
    - ¿Para hacer qué cosas conviene tener mensajes?
    - ¿Para hacer qué tipos de operaciones sobre la BIE conviene tener mensajes?

# BGP

- **Solución:** En BGP se usan **mensajes de actualización**, los cuales pueden comunicar los siguientes tipos de información:
  - **Información acerca de una ruta** a través de la internet.
    - La misma está disponible para ser agregada en la BIE de todo enrutador BGP receptor.
  - Una **lista de rutas previamente avisadas** por el enrutador emisor que ya no son más válidas.
    - Identifica cada una de esas rutas con el prefijo de la red de destino.
- **¿Qué efectos produce la recepción de un mensaje de actualización?**

# BGP

- ¿Si un enrutador BGP tiene una ruta a un destino tiene que avisarla?

# BGP

- ¿Si un enrutador BGP tiene una ruta a un destino tiene que avisarla?
- Cuando una puerta de enlace recibe un aviso de ruta usa su **política de importación** para decidir si **aceptar o filtrar** la ruta.
  - Se puede filtrar la ruta porque ya conoce una ***ruta preferible*** al mismo prefijo.
  - Se puede filtrar la ruta porque el SA puede no querer enviar tráfico por uno de los SA del AS-PATH de la ruta.
- ¿Qué se debe hacer cuando los enlaces fallan o las políticas cambian?

# BGP

- ¿Si un enrutador BGP tiene una ruta a un destino tiene que avisarla?
- Cuando una puerta de enlace recibe un aviso de ruta usa su **política de importación** para decidir si **aceptar o filtrar** la ruta.
  - Se puede filtrar la ruta porque ya conoce una **ruta preferible** al mismo prefijo.
  - Se puede filtrar la ruta porque el SA puede no querer enviar tráfico por uno de los SA del AS-PATH de la ruta.
- ¿Qué se debe hacer cuando los enlaces fallan o las políticas cambian?
  - Hay que cancelar caminos previamente avisados; para eso los enrutadores cambian sus BIE.
  - Se envían mensajes de actualización.



# BGP

- Un enrutador puede recibir múltiples rutas al *mismo prefijo*.
  - La **mejor ruta** a un prefijo debe guardarse en la BIE.
- ¿Cómo puede escoger un enrutador una de esas rutas al mismo prefijo?
- **Ayuda:** pensar en los siguientes casos:
  - Si hay varias rutas a un prefijo pero unas son más preferibles a otras por las políticas.
  - Hay rutas a un prefijo con distintas cantidades de SA en el AS-PATH.
  - Hay rutas a un prefijo con la misma cantidad de SA en el AS-PATH.

# BGP

- **Solución de BGP:** Si hay *más de una ruta* al mismo prefijo, BGP secuencialmente invoca las siguientes **reglas de eliminación** hasta que queda una ruta:
  1. Las rutas con el ***mayor valor de preferencia local*** son elegidas.
    - que puede haber sido fijado por el enrutador o aprendido de otro enrutador en el mismo SA (esto lo define el administrador del SA).
  2. De las rutas restantes, la ruta con el ***camino AS-PATH más corto*** es elegida (la métrica es la cantidad de saltos SA).
  3. De las rutas restantes la ruta con el ***enrutador NEXT-HOP más cercano es elegida***;
    - Se considera el enrutador NEXT-HOP con el camino más corto dado por el algoritmo de enrutamiento intra-SA (llamado **hot potato routing**).
  4. Si queda mas de una ruta, se usan criterios adicionales.

# BGP

- ¿Usando lo que vimos anteriormente, cómo un enrutador hace entrada en la tabla de reenvío de un prefijo perteneciente a otro SA?

# Cómo se hace una entrada en tabla de reenvío

## Solución de BGP:

1. El enrutador pasa a ser consciente del prefijo
  - vía avisos BGP de ruta de otros enrutadores
2. Determinar el puerto de salida del enrutador para el prefijo
  - Usar selección de ruta BGP para encontrar la mejor ruta inter-SA
  - Usar OSPF para encontrar la mejor ruta intra-SA que lleva a la mejor ruta inter-SA.
  - El enrutador identifica el puerto de salida del enrutador para esa mejor ruta.
3. Ingresar el puerto del prefijo en la tabla de reenvío