

Tecnología Digital IV: Redes de Computadoras

Clase 18: Protocolos de Ruteo - Parte 3

Lucio Santi & Emmanuel Iarussi

Licenciatura en Tecnología Digital
Universidad Torcuato Di Tella

27 de mayo de 2025

Ruteo intra-dominio

Ruteo en Internet

Hasta ahora desarrollamos los conceptos teóricos de los algoritmos de ruteo en condiciones “idealizadas”

- Routers idénticos
- Redes simples, sin estructura

Internet: miles de millones de destinos

- No es posible guardar todo en las tablas de ruteo
- Los mensajes de intercambio saturarían todos los enlaces

Autonomía administrativa

- Internet es una “red de redes”
- Cada red quiere controlar el ruteo “puertas adentro”

Ruteo escalable

En Internet, los routers se agrupan en regiones:
sistemas autónomos (ASs)

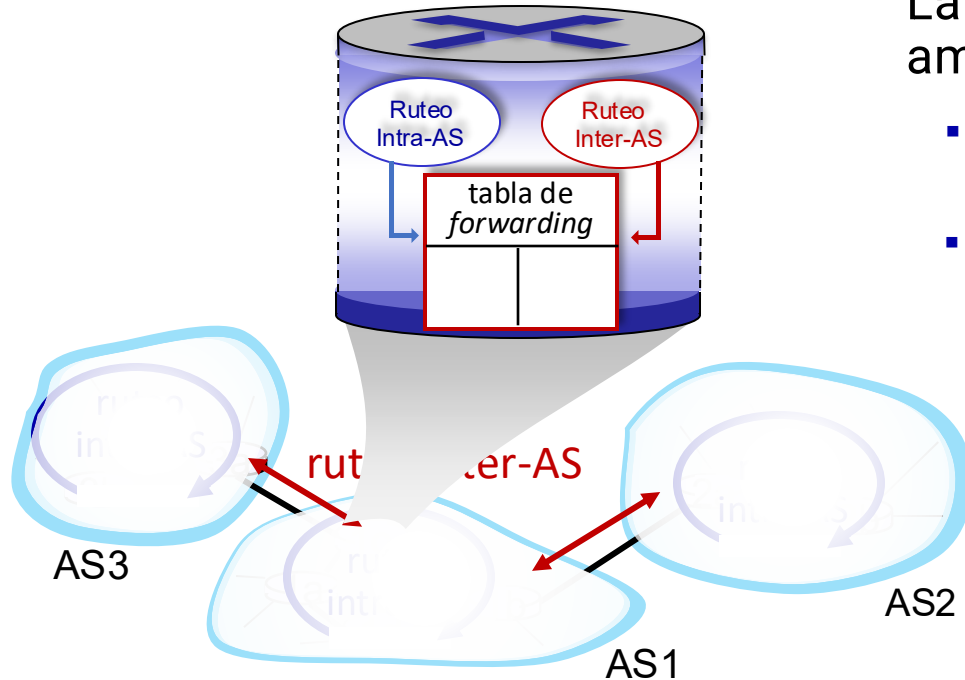
Ruteo *intra-AS*: dentro del mismo AS

- Todo router en el AS debe correr el mismo protocolo intra-AS (o *intra-dominio*)
- Routers en distintos ASs pueden correr protocolos intra-AS diferentes
- *Gateway router*: emplazado en el borde de su propio AS; tiene enlaces a routers en otros ASs

Ruteo *inter-AS*: entre ASs

- Los *gateways* ejecutan tanto ruteo inter-AS como intra-AS

Interconexión de sistemas autónomos



La tabla de *forwarding* la configuran ambos protocolos (intra- e inter-AS)

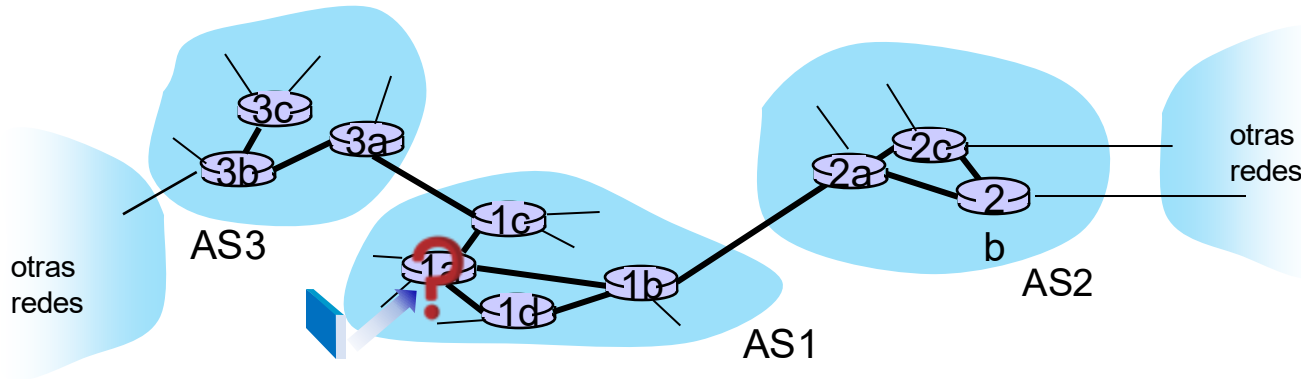
- El ruteo intra-AS determina las entradas para los destinos en el AS
- El ruteo inter-AS determina las entradas para los destinos externos

Alcanzabilidad de destinos externos

- Si un router en AS1 recibe un paquete destinado al exterior,
- ¿cómo sabe a cuál gateway reenviárselo?

El ruteo inter-AS de AS1 debe:

1. Aprender cuáles destinos son alcanzables vía AS2 y cuáles vía AS3
2. Propagar esta información a todos los routers de AS1



Protocolos de ruteo intra-AS

Algunos de los protocolos de ruteo interno más comunes:

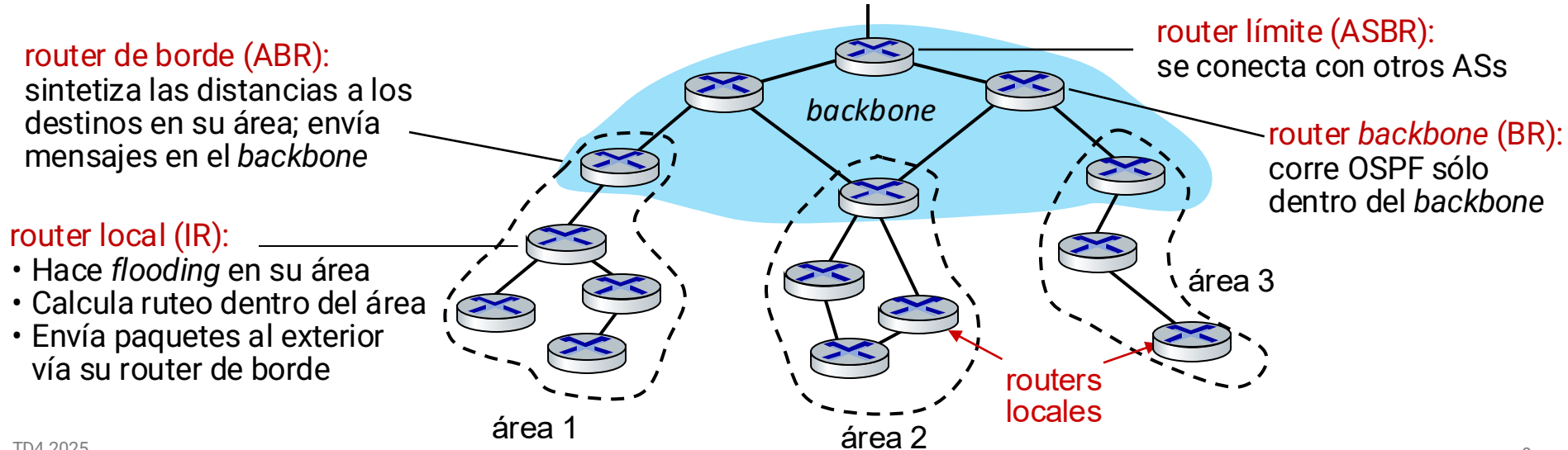
- **RIP: *Routing Information Protocol*** [RFC 1723]
 - Distance vector “clásico”: intercambia DVs cada 30 segundos
 - No se usa mucho en la actualidad
- **EIGRP: *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol***
 - Basado en un algoritmo *distance vector*
 - Fue propietario de Cisco durante décadas; se hizo abierto en 2013 [RFC 7868]
- **OSPF: *Open Shortest Path First*** [RFC 2328]
 - Basado en un algoritmo *link state*
 - El protocolo IS-IS (*standard* ISO, no RFC) es esencialmente equivalente a OSPF

El protocolo OSPF

- Es abierto, públicamente disponible (la O de *Open*)
- *Link state* “clásico”
 - Cada router hace *flooding* a toda la red del AS con mensajes de estado de sus enlaces (van sobre IP y no sobre TCP/UDP)
 - Permite definir múltiples métricas de costos de enlaces (e.g., ancho de banda o delay)
 - Cada router tiene la topología completa de la red; utiliza el algoritmo de Dijkstra para calcular la tabla de *forwarding*
- Seguridad: define mecanismos de autenticación para los mensajes

OSPF: diseño jerárquico

- El AS se puede jerarquizar en dos niveles: áreas locales y *backbone*
 - Los mensajes se *flood*ean sólo en un área local o en el *backbone*
 - Cada router tiene la topología detallada del área; sólo conoce la dirección para alcanzar otros destinos

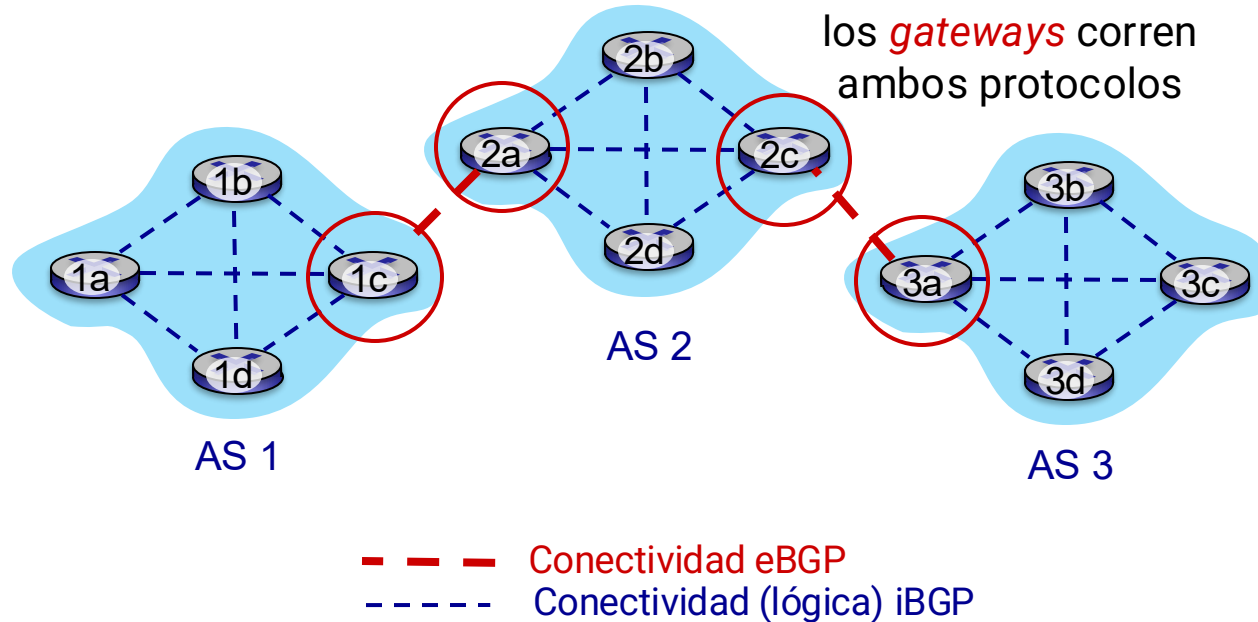


Ruteo inter-dominio

Ruteo inter-dominio: BGP

- **BGP (*Border Gateway Protocol*)**: el protocolo *de-facto* de ruteo inter-dominio
 - El “pegamento” de Internet
- Permite que las subnets anuncien a todo Internet su existencia (y sus destinos alcanzables)
- BGP provee mecanismos para que los ASs puedan:
 - Obtener información de “*alcanzabilidad*” de redes desde los ASs vecinos (**eBGP**)
 - Propagar información de “*alcanzabilidad*” a todos los routers dentro del AS (**iBGP**)
 - Determinar buenas rutas hacia otras redes a partir de dicha información de “*alcanzabilidad*” y de *políticas*

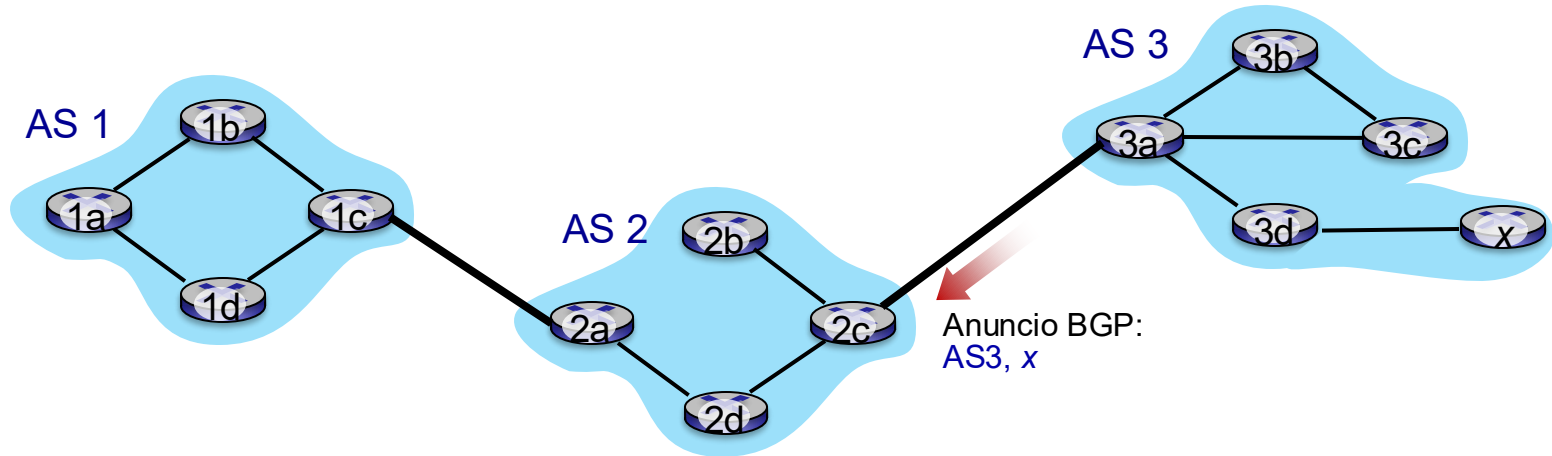
Conectividad eBGP e iBGP



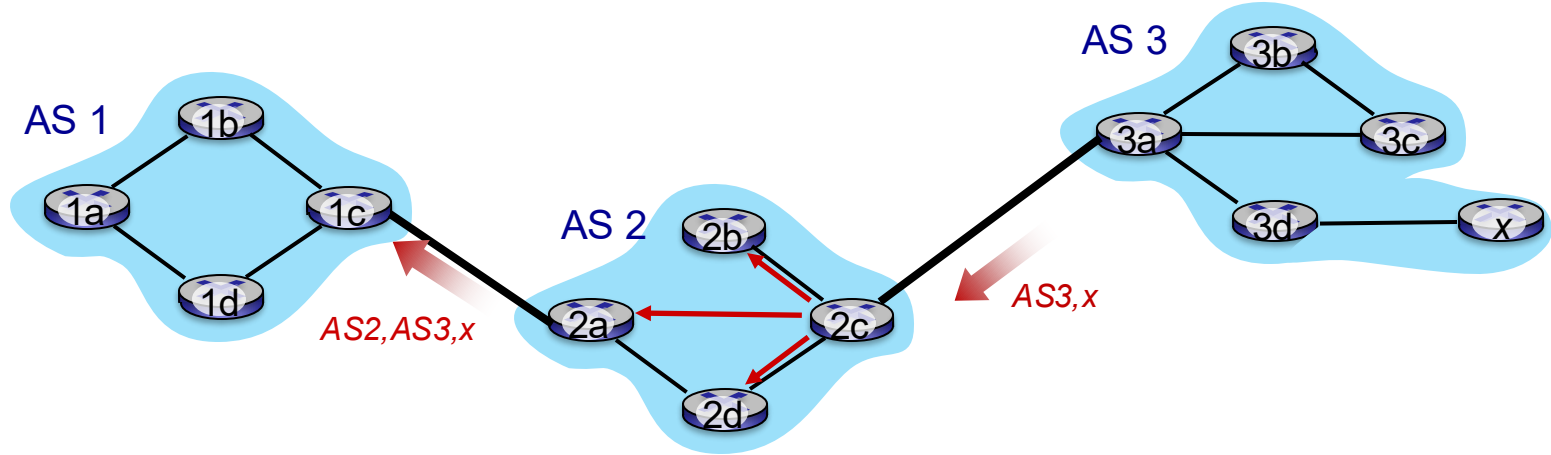
Un **gateway** (o **puerta de enlace**) es un **dispositivo de red** que actúa como **punto de acceso** entre dos redes que utilizan diferentes protocolos de comunicación. Su función principal es **traducir o enrutar el tráfico de una red a otra**, permitiendo que los dispositivos en una red puedan comunicarse con dispositivos en otra red.

BGP: conceptos básicos

- **Sesión BGP:** dos routers BGP (*peers*) intercambian mensajes sobre una conexión TCP semi-permanente
 - Anuncio de **caminos** hacia diferentes destinos (prefijos de redes)
- Cuando el *gateway* 3a en AS3 anuncia el camino **AS3, x** a 2c:
 - AS3 le *promete* a AS2 que reenviará los datagramas hacia x

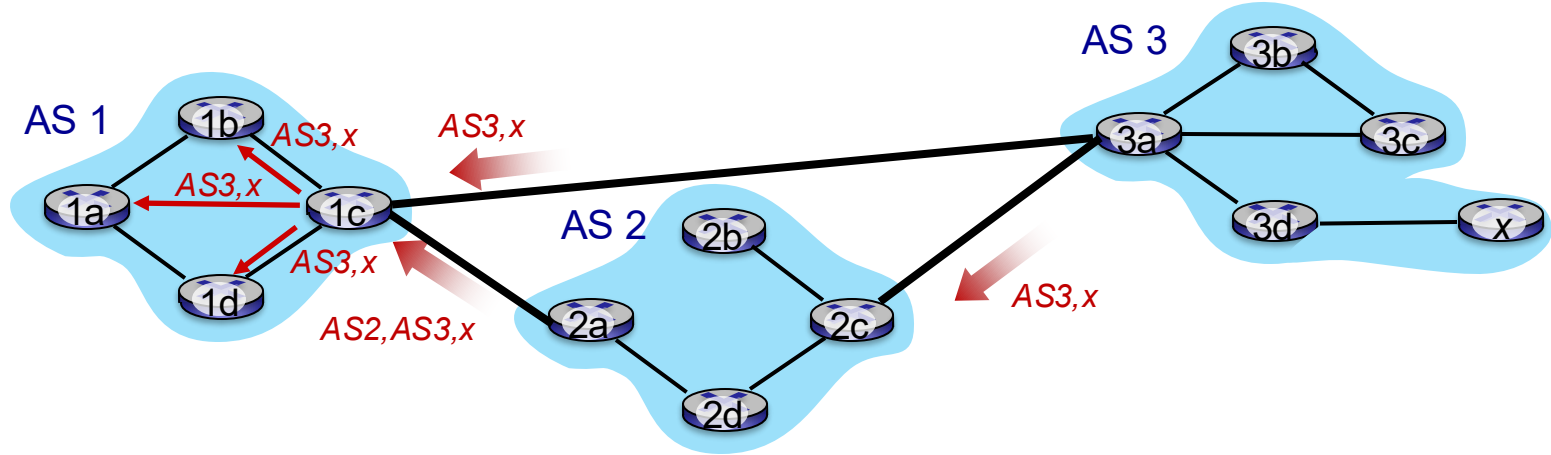


Anuncio de caminos



- El router 2c del AS2 recibe el anuncio **AS3, x** (vía **eBGP**) del router 3a de AS3
- A partir de la política del AS2, el router 2c acepta el camino y lo propaga (vía **iBGP**) a todos los routers del AS2
- A partir de la política del AS2, el router 2a anuncia el camino **AS2, AS3, x** (vía **eBGP**) al router 1c del AS1

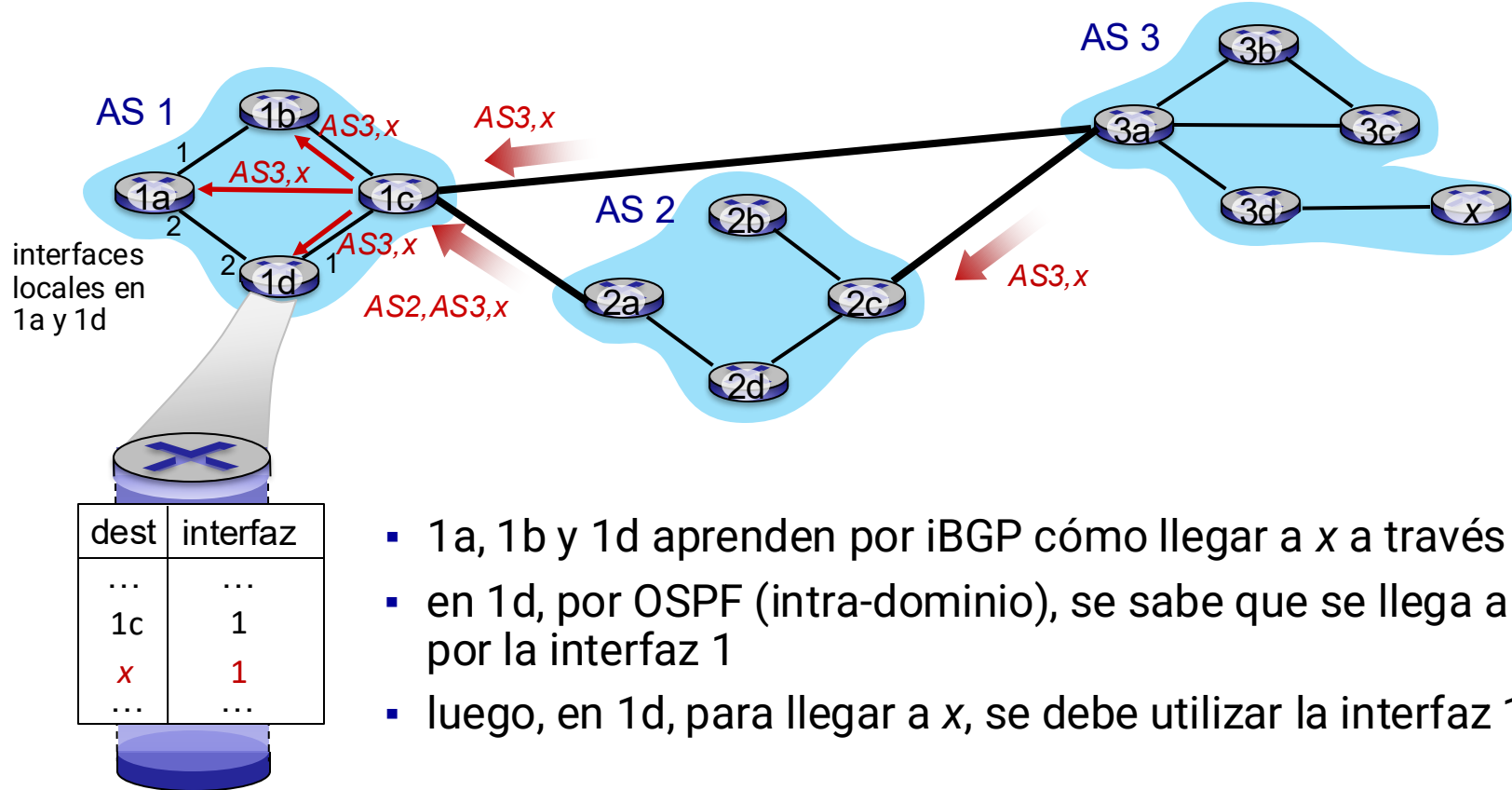
Anuncio de caminos



Un *gateway* puede aprender múltiples caminos hacia un destino:

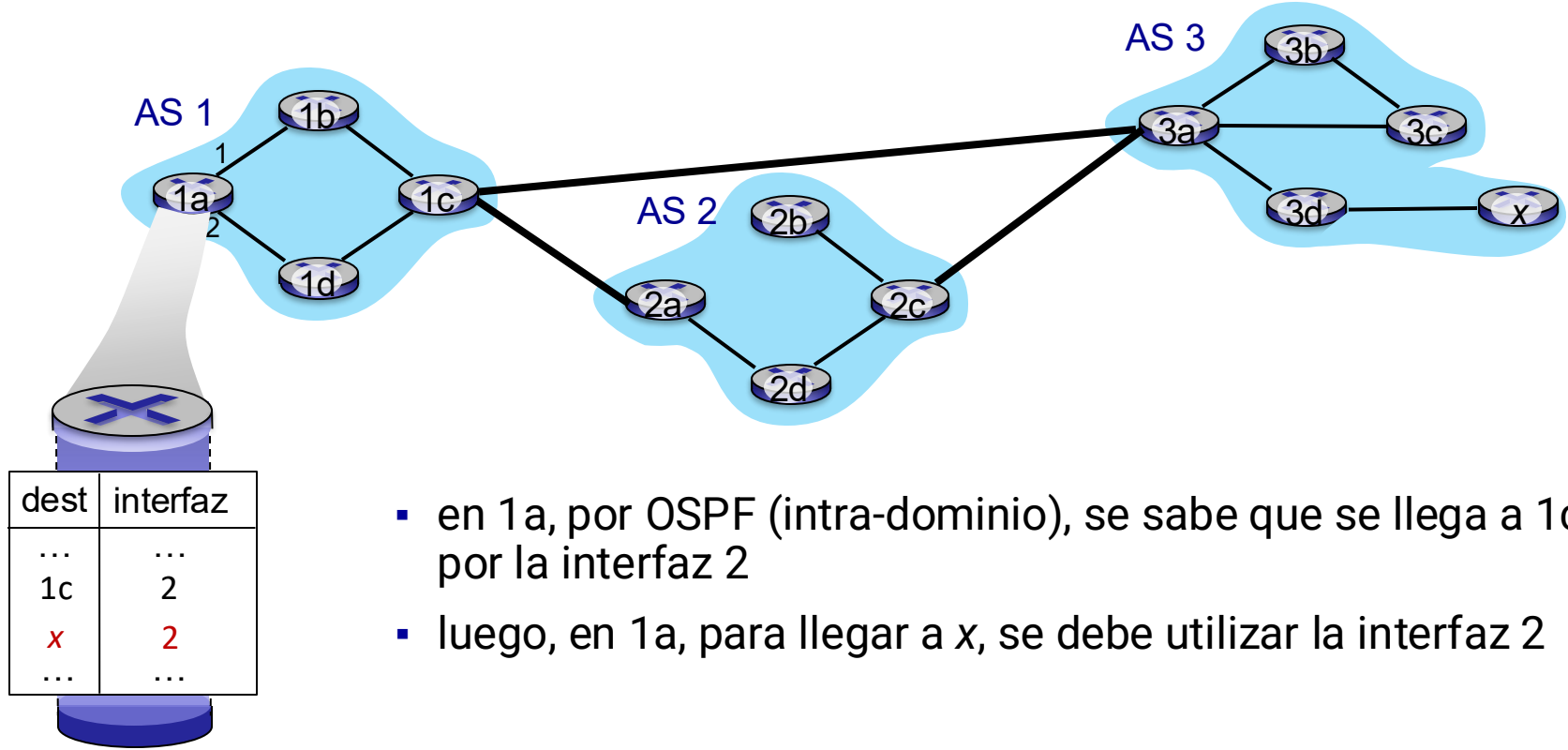
- El router 1c aprende el camino **AS2, AS3, x** de 2a
- El router 1c aprende el camino **AS3, x** de 3a
- A partir de la política del AS1, el router 1c elige el camino **AS3, x** y anuncia dicho camino dentro del AS1 vía iBGP

Anuncio de caminos



- 1a, 1b y 1d aprenden por iBGP cómo llegar a x a través de 1c
- en 1d, por OSPF (intra-dominio), se sabe que se llega a 1c por la interfaz 1
- luego, en 1d, para llegar a x, se debe utilizar la interfaz 1

Anuncio de caminos



- en 1a, por OSPF (intra-dominio), se sabe que se llega a 1c por la interfaz 2
- luego, en 1a, para llegar a x, se debe utilizar la interfaz 2

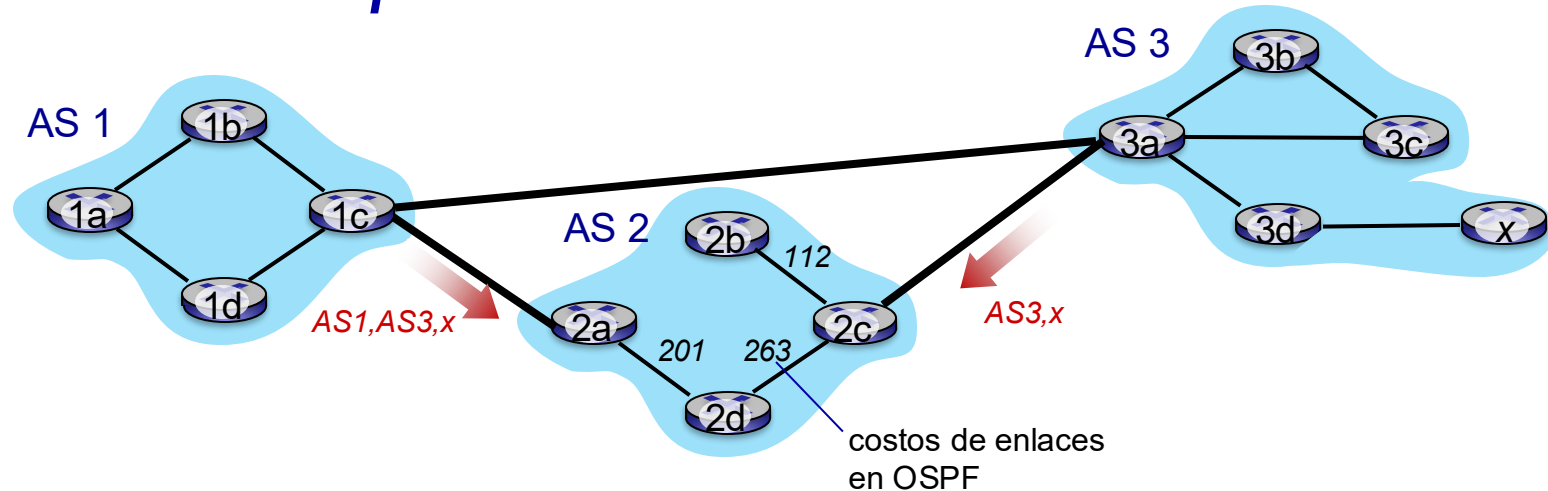
Rutas y atributos

- Las rutas anunciadas en BGP constan de **prefijo + atributos**
 - Prefijo: el destino siendo anunciado
 - Dos atributos importantes:
 - **AS-PATH**: lista de los ASs atravesados por el anuncio del prefijo
 - **NEXT-HOP**: indica la IP de la interfaz del router interno que comienza el AS-PATH
- Ruteo por políticas:
 - Los *gateways* pueden utilizar políticas para aceptar o rechazar anuncios (e.g., no rutear a través del AS N)
 - También pueden determinar si corresponde anunciar caminos a otros ASs

Mensajes BGP

- Los *peers* BGP intercambian mensajes sobre una conexión TCP
- Cuatro tipo de mensajes BGP:
 - **OPEN**: abre una conexión TCP a un *peer* remoto y autentica al *peer* emisor
 - **UPDATE**: anuncia un nuevo camino (o actualiza/elimina uno anterior)
 - **KEEPALIVE**: mantiene la conexión abierta en ausencia de UPDATES; también sirve como ACK de OPEN
 - **NOTIFICATION**: reporta errores en el mensaje anterior; también empleado para cerrar la conexión

Ruteo *hot potato*



- 2d aprende (vía iBGP) que puede llegar a x a través de 2a ó 2c
- **Ruteo *hot potato***: elegir el *gateway* con el menor costo intra-dominio sin preocuparse por el costo inter-dominio (en este caso, 2d elige 2a a pesar de que el camino tenga más hops hacia x)

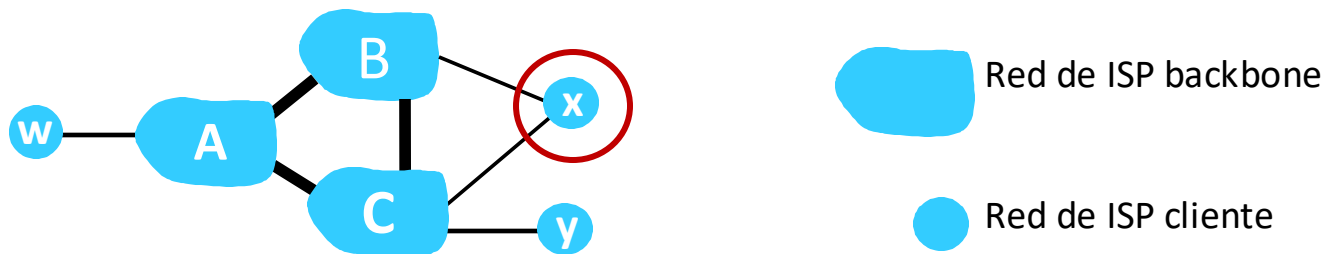
Selección de rutas

- Un router puede aprender más de una ruta hacia un AS
- La selección entre estas se da por eliminación aplicando las siguientes reglas:
 1. Valor de *preferencia local* (vía política del admin del AS)
 2. AS-PATH más corto
 3. Router NEXT-HOP más cercano (ruteo *hot potato*)
 4. Criterios adicionales (identificadores BGP)

Selección de rutas

- Imagina un **ISP argentino** (AS 12345) que se conecta a dos proveedores internacionales (AS 200 y AS 300). El ISP configurará BGP en sus routers de borde, formará **eBGP sessions** con los routers de los AS 200 y 300, y anunciará los prefijos de sus clientes (por ejemplo, 190.123.0.0/16).

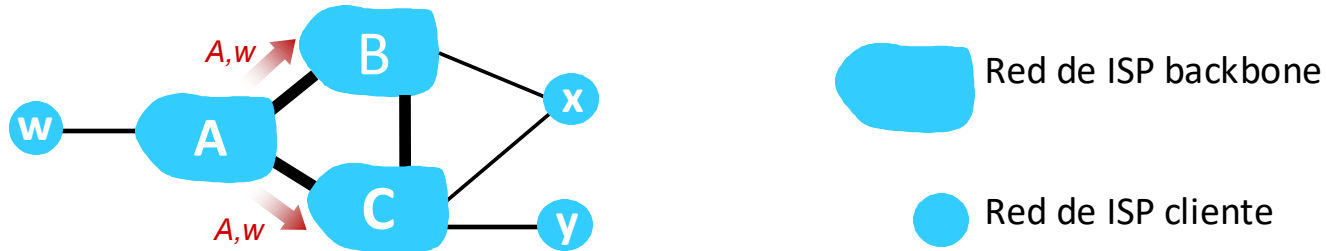
Política vía anuncios



Supongamos que un ISP sólo quiere rutear tráfico desde/hacia sus redes cliente (y no quiere rutear tráfico en tránsito entre otros ISPs –una política realista)

- A, B y C son redes de ISPs *backbone* (*tier 1*)
- x, w e y son redes cliente (e.g. ISPs de *tier 3*)
- x es *dual-homed*: conectado a dos proveedores
- Si x no quisiera rutear el tráfico de B a C,
 - x podría dejar de anunciar a B las rutas hacia C

Política vía anuncios



Supongamos que un ISP sólo quiere rutear tráfico desde/hacia sus redes cliente (y no quiere rutear tráfico en tránsito entre otros ISPs –una política realista)

- A anuncia el camino *A,w* a B y a C
- B decide **no anunciar** *B,A,w* a C
 - B no obtiene rédito por rutear *C,B,A,w* dado que ni C, ni A ni w son clientes
 - C, por ende, no aprende el camino *C,B,A,w*
- C va a rutear *C,A,w* para llegar a w

¿Por qué existe ruteo inter- e intra-dominio?

Política

- inter-dominio: importante decidir quién rutea a través de la red y cómo lo hace
- intra-dominio: mismo control administrativo; la política pierde relevancia

Escala

- El ruteo jerárquico ahorra espacio de tablas y reduce el tráfico en las redes

Rendimiento

- inter-dominio: se prioriza por debajo de la política
- intra-dominio: puede focalizar en optimizar las rutas

Demo!

- Utilizar el comando **route** (Linux) para inspeccionar la tabla de *forwarding* del sistema operativo local
 - ¿Cuántas reglas tiene? ¿Cómo se interpretan?
 - ¿Cuál es el *default gateway* del host?
- Manipular la tabla agregando y borrando reglas
 - Agregar una nueva regla para reenviar los paquetes destinados al host 8.8.8.8 a una IP de la LAN distinta a la del *gateway*. ¿Qué ocurre si intentamos llegar a dicho host ahora?
 - Eliminar la regla anterior y comprobar que se restablece la conectividad IP hacia el host
 - ¿Qué ocurre si eliminamos la regla *default*?