

# Módulo 04

## La Capa de Red

### (Pt. 4)



Redes de Computadoras  
Depto. Cs. e Ing. de la Comp.  
Universidad Nacional del Sur



# Copyright

- Copyright © **2010-2022** A. G. Stankevicius
- Se asegura la libertad para copiar, distribuir y modificar este documento de acuerdo a los términos de la **GNU Free Documentation License**, versión 1.2 o cualquiera posterior publicada por la Free Software Foundation, sin secciones invariantes ni textos de cubierta delantera o trasera
- Una copia de esta licencia está siempre disponible en la página <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>
- La versión transparente de este documento puede ser obtenida de la siguiente dirección:

<http://cs.uns.edu.ar/~ags/teaching>



# Contenidos

- Modelos de servicios de la capa de red
- Estructura interna de un router
- El protocolo **IP**
- **IPv4 vs. IPv6**
- Protocolos de ruteo
- Ruteo jerárquico
- Ruteo en internet
- Multicast



# Ruteo jerárquico

- El análisis de los algoritmos de ruteo hasta este punto es un tanto idealizado:
  - Todos los routers tienen las mismas capacidades
  - La red presenta una topología aplanada, esto es, todos los nodos están al mismo nivel
- **Este modelo no sirve en el mundo real**, donde existen cientos de millones de destinos
  - La tabla tendría un tamaño inconcebible
  - El intercambio de tablas saturaría la red



# Ruteo jerárquico

- La solución adoptada consiste en implementar un esquema de **ruteo jerárquico**:
  - ➔ Los routers se agrupan por regiones en **sistemas autónomos (AS)**
  - ➔ Los routers de un cierto **AS** coordinan correr el mismo protocolo de ruteo (denominado **intra-AS**)
  - ➔ Los routers de distintos **AS** pueden haber optado por correr diferentes protocolos de ruteo

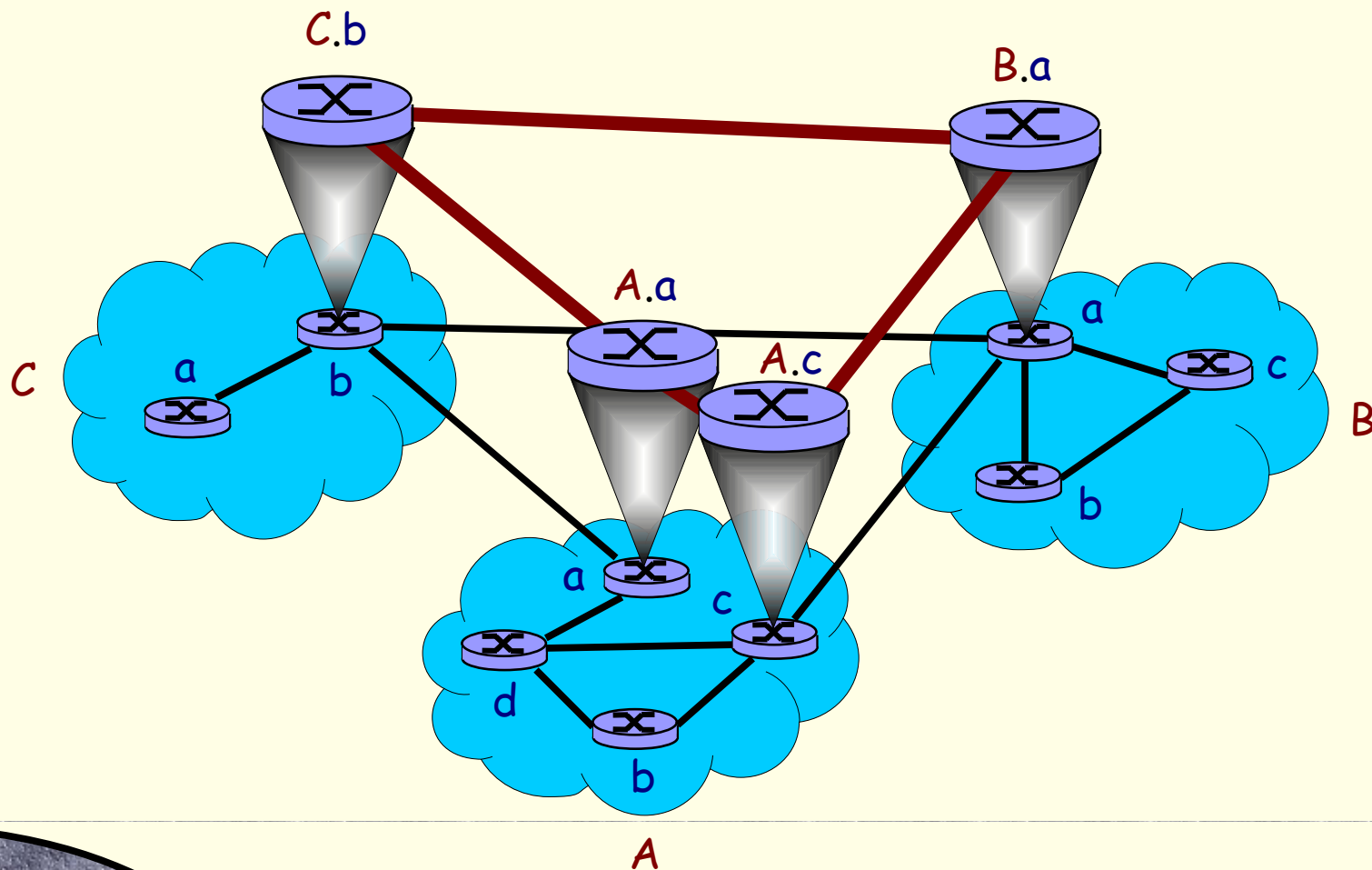


# Routers gateway

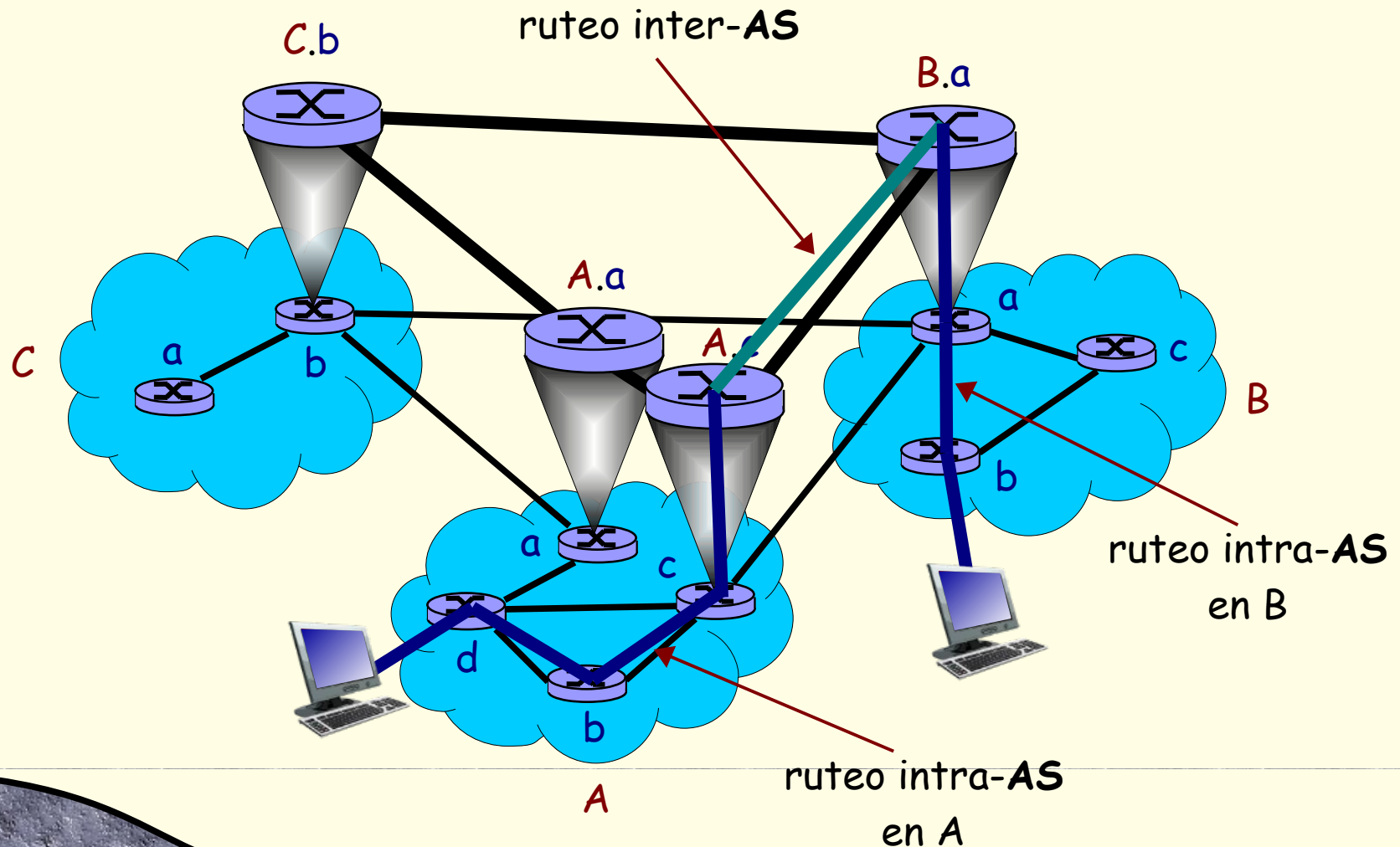
- Dentro de cada **AS** se destacan uno o más routers especiales denominados **gateway**
  - ➔ Ese router corre el protocolo de ruteo intra-**AS** al igual que el resto
  - ➔ Por otra parte, es responsable de rutear hacia los destinos fuera del **AS** (en otras palabras, está conectado a otros **AS**)
  - ➔ Por esta razón, también corre el **protocolo de ruteo inter-AS** que se haya elegido para coordinar entre los restantes routers gateway de otros **AS**



# Ruteo intra-AS e inter-AS



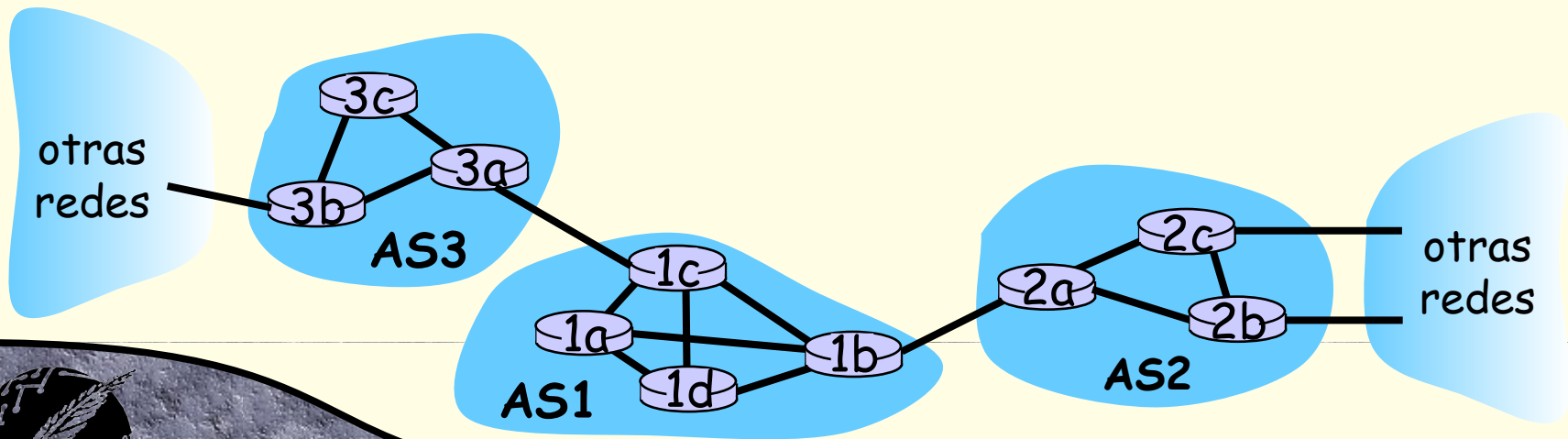
# Ruteo intra-AS e inter-AS





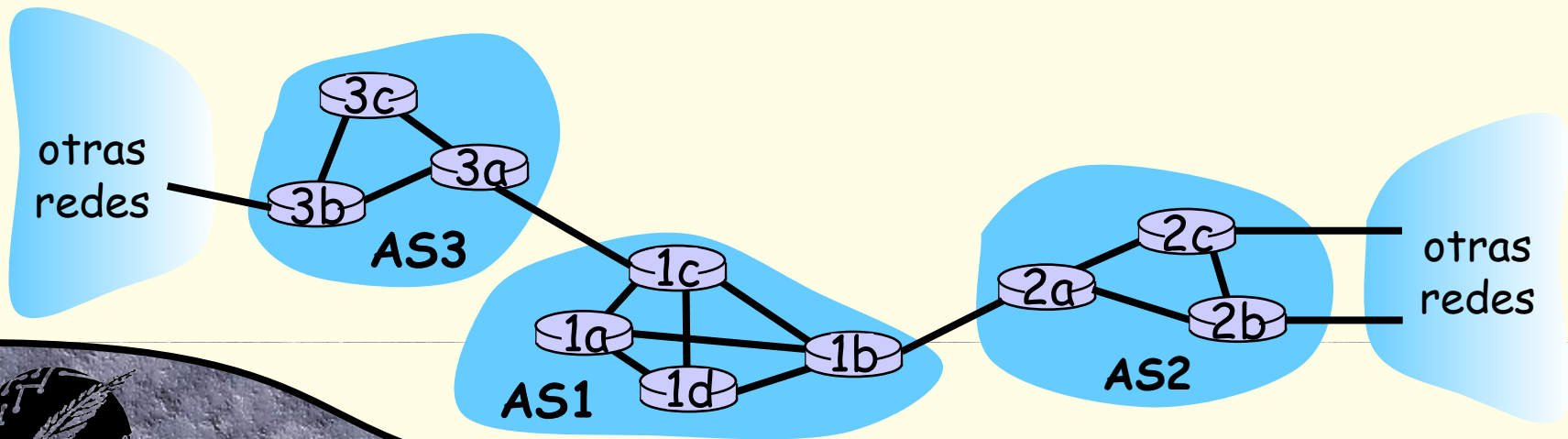
# Tareas dentro del AS

- Supongamos que un router en **AS1** recibe un datagrama destinado a otro **AS**
  - ➔ Evidentemente se lo debe alcanzar a uno de sus gateways, pero la pregunta que se impone es a cuál de ellos



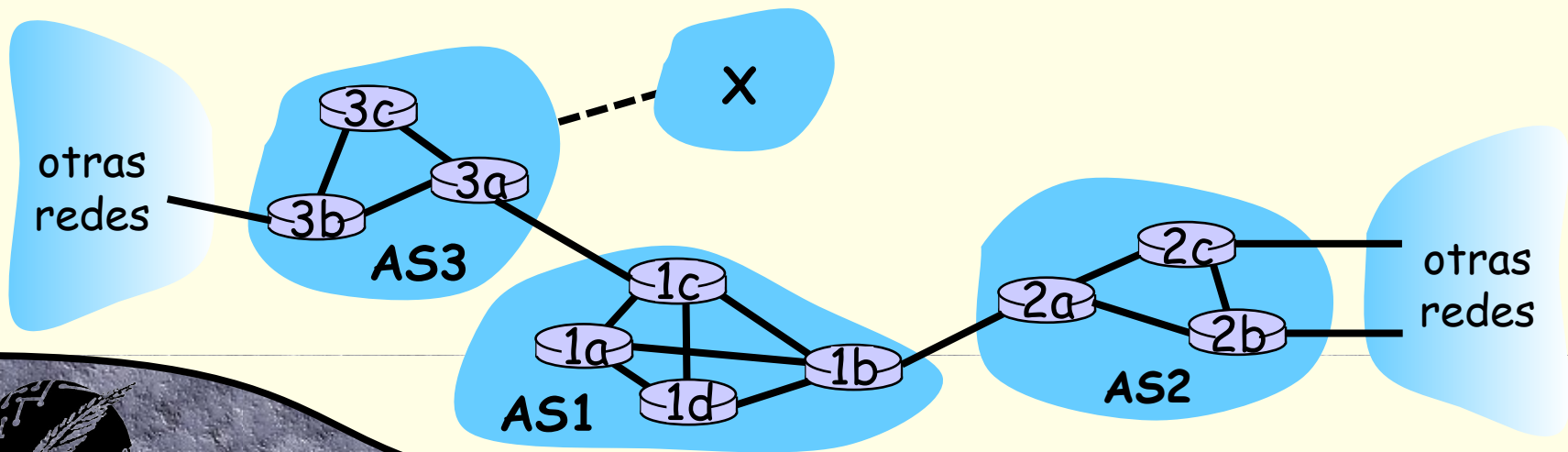
# Tareas dentro del AS

- **AS1** debe resolver dos tareas:
  - ➔ Primero, determinar qué destinos son alcanzables a través de **AS2** y cuáles a través de **AS3**
  - ➔ Luego, propagar esta información a la totalidad de los routers del **AS**
- ¡Esta es la tarea del ruteo inter-AS!



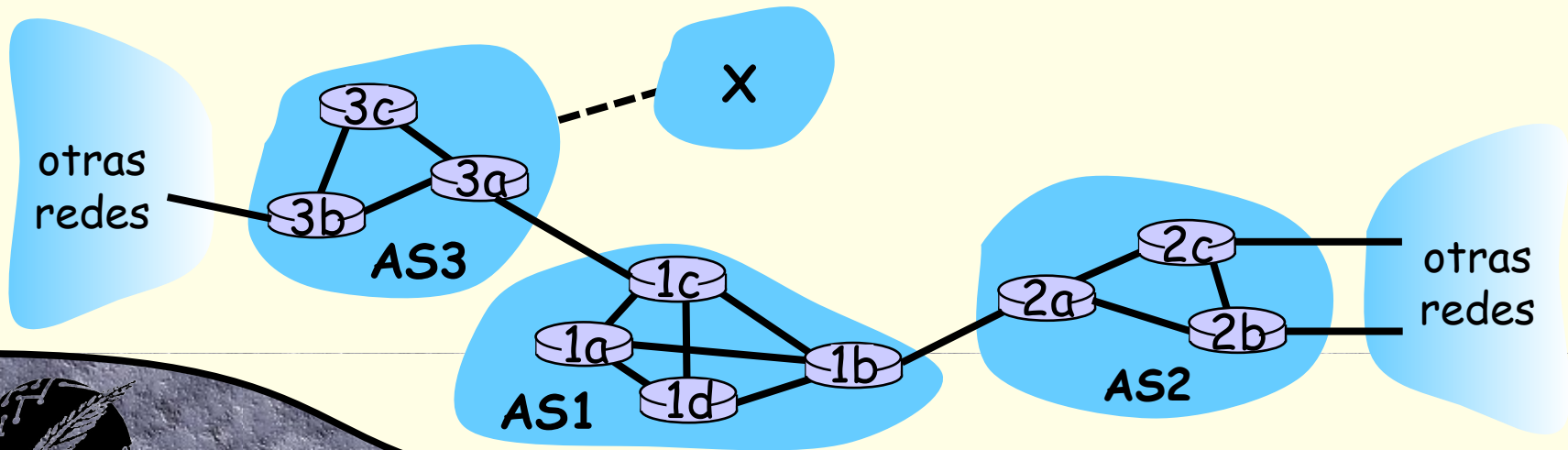
# Cálculo de la tabla de forw.

- Supongamos que **AS1** descubre (usando el protocolo inter-**AS**) que la subred **X** es alcanzable via **AS3**, pero no via **AS2**
- El protocolo inter-**AS** propagará esta información a todos los routers internos



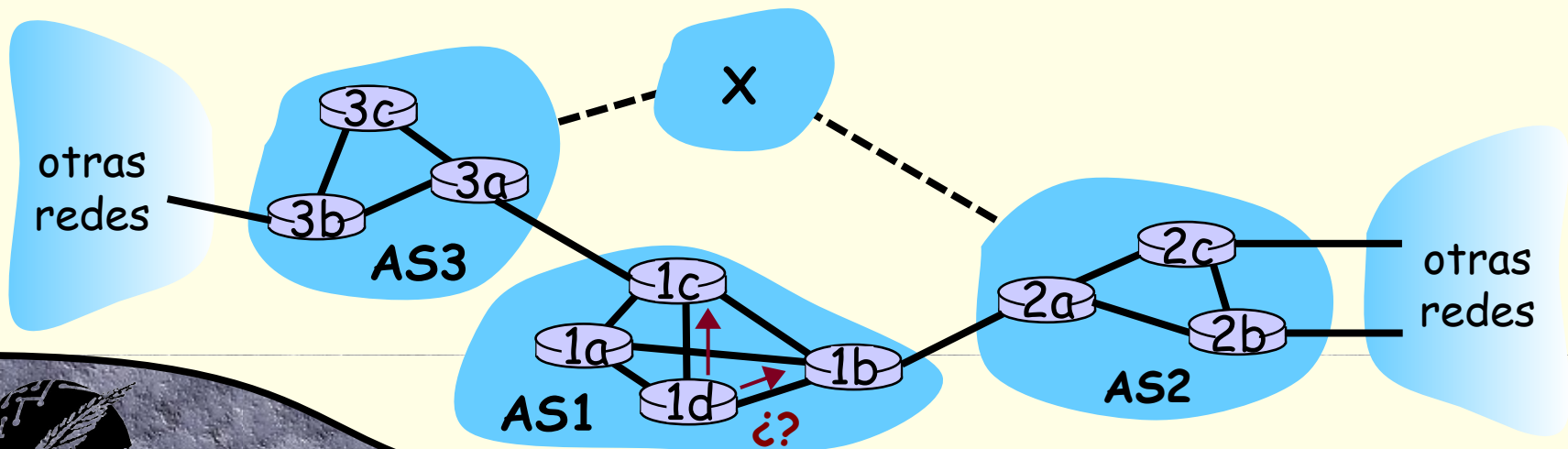
# Cálculo de la tabla de forw.

- El router **1d** determina usando el protocolo intra-**AS** que su interfaz **I** está el mejor camino a **1c**
- Acto seguido refleja esta información en su tabla de forwarding, anotando que para ir a **X** debe usar la interfaz **I**



# Cálculo de la tabla de forw.

- Supongamos ahora que **AS1** descubre (usando el protocolo inter-**AS**) que la subred **X** también es accesible via **AS2**
- Para actualizar la tabla de forwarding el router **1d** debe determinar a qué gatewar debe enviar los datagramas para la subred **X**



# Cálculo de la tabla de forw.

- En esta situación, se puede usar la propia información del protocolo intra-**AS** para encontrar la ruta menos costosa
  - Esta decisión unilateral de cómo conviene rutear hacia un destino fuera del **AS** se denomina “**hot potato routing**” (ruteo de la papa ardiente)
  - Nótese que no necesariamente será el camino de menor costo global
  - Entonces, ¿por qué se adopta esta solución?



# Ruteo en internet

- La organización jerárquica de internet encaja a la perfección con la noción de ruteo jerárquico
- Internet se particiona en un conjunto de sistemas autónomos interconectados
- Esta partición permite hablar de ruteo en dos niveles:
  - ➔ Intra-AS: el administrador de la red es el responsable de elegir el algoritmo de ruteo
  - ➔ Inter-AS: se hace uso del protocolo **BGP**, el estándar universal prefijado para el ruteo inter-AS



# Ruteo intra-AS

- Los protocolos de ruteo intra-**AS** más utilizados son los siguientes:
  - **RIP** (Routing Information Protocol)
  - **OSPF** (Open Shortest Path First)
  - **IGRP** (Interior Gateway Routing Protocol)
- Los dos primeros son estándares abiertos; el tercero es propietario, de la compañía Cisco
- También se los conoce a estos protocolos como **IGP** (Interior Gateway Protocol)





# Protocolo RIP

- Se define formalmente en el **RFC 2453**.
- Se basa en el algoritmo **vector de distancia**
- Utiliza como métrica la distancia en cantidad de saltos (también conocidos como “hops”)
  - El máximo contemplado es **15 saltos**
- Los vecinos intercambian sus vectores de distancias cada 30 segundos haciendo uso de **mensajes de difusión** (Response Message)
- Cada mensaje publicita hasta 25 destinos



# RIP en acción

destino	próx. router	distancia
W	-	-
X	-	-
Z	C	4
...	...	...

mensaje de difusión  
del router A al D

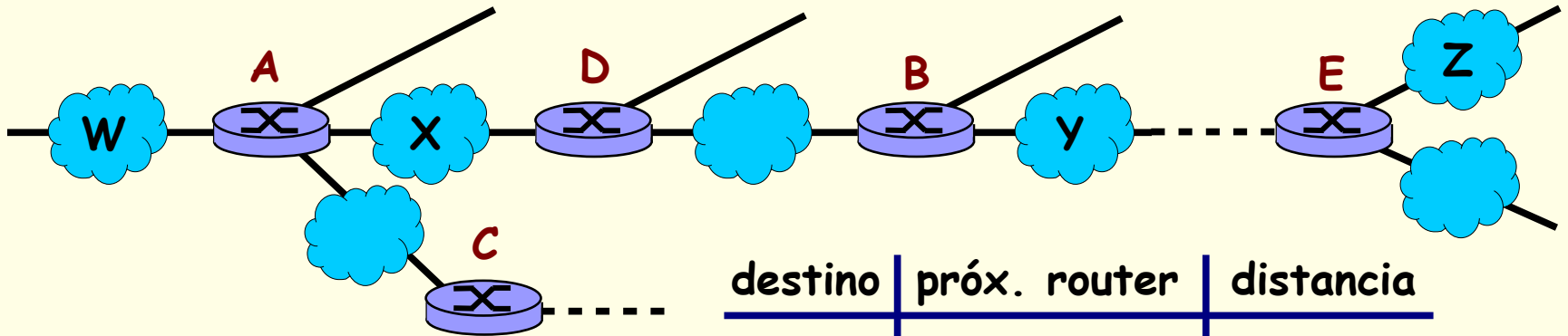


tabla de forwarding  
del router D

destino	próx. router	distancia
W	A	2
Y	B	2
Z	<del>B</del> A	<del>X</del> 5
X	-	1
...	...	...



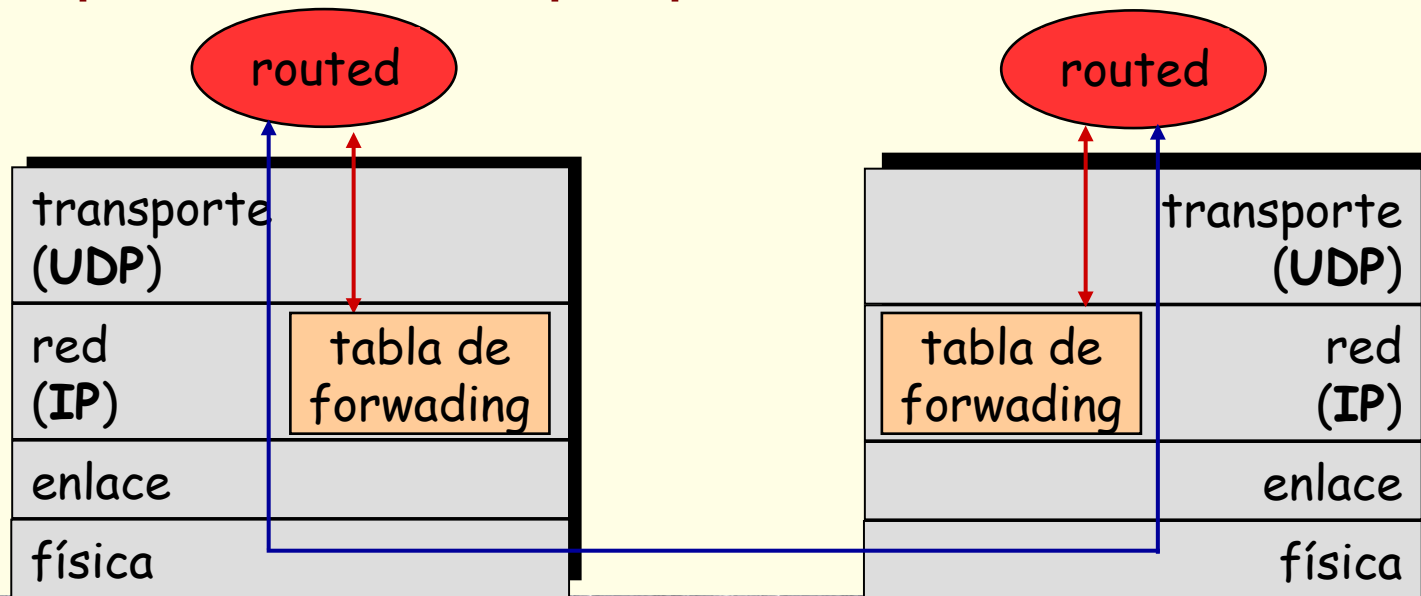
# Fallos y recuperación

- Pasados 180 segundos sin recibir un mensaje de difusión de un dado vecino, se asume que el enlace y/o el vecino están muertos
  - Se **invalidan todas las rutas** que pasan por ese vecino
  - Se comunica la novedad a los restantes vecinos
  - Los vecinos a su vez envían nuevas actualizaciones (en caso de que sus tablas cambien)
  - La noticia de la falla del enlace se propaga rápidamente al resto de la red
  - Se usa la técnica vista para evitar la **cuenta al infinito**



# Mensajes de difusión

- Las tablas de ruteo **RIP** son mantenidas y por un proceso alojado en la capa de aplicaciones
- Los mensajes de difusión se distribuyen encapsulados en paquetes **UDP**



# Protocolo OSPF

- Se trata un estándar abierto al igual que **RIP**
  - Se define formalmente en el **RFC 2328**
- Hace uso del algoritmo **estado de los enlaces**
  - El administrador determina el costo de cada enlace
  - Las rutas se resuelven con el algoritmo de Dijkstra
  - Cada router comunica por inundación a sus pares el costo de los enlaces que lo unen a sus vecinos inmediatos usando un mensaje **OSPF**
  - Los mensajes **OSPF** se **encapsulan directamente dentro de un datagrama IP**

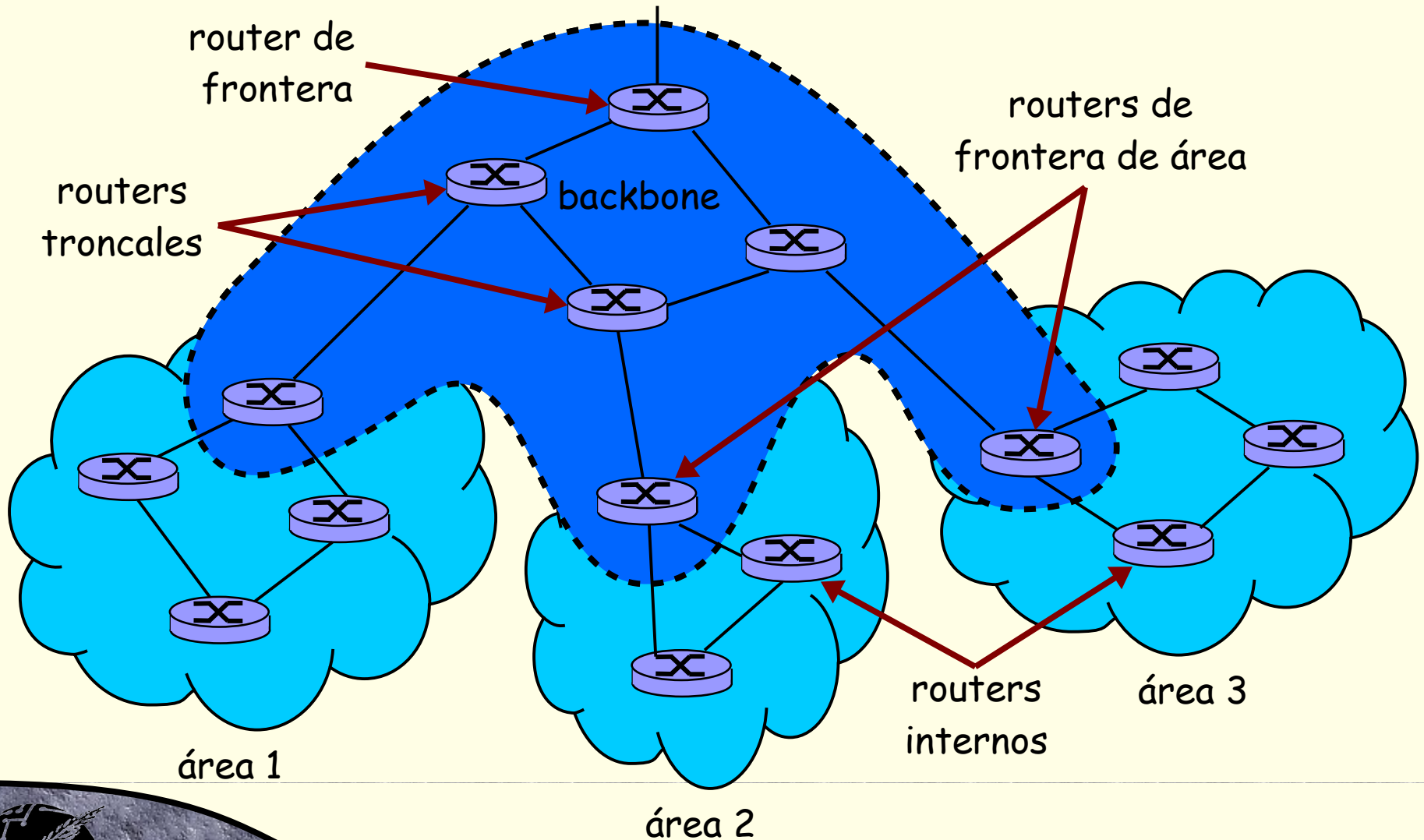


# Protocolo OSPF

- **OSPF** disfruta de algunas características avanzadas no presentes en **RIP**:
  - Cuenta con un mejor esquema de seguridad, pues los mensajes **OSPF** están autenticados
  - Se pueden configurar **múltiples enlaces entre un mismo par de nodos** (algo no permitido bajo **RIP**)
  - **Soporta unicast y multicast** de forma nativa
  - Posibilita registrar **múltiples métricas en paralelo**
  - En grandes organizaciones se puede hacer uso de un esquema **OSPF jerárquico**



# OSPF jerárquico



# OSPF jerárquico

- En grandes organizaciones, **OSPF** permite adoptar una jerarquía de dos niveles:
  - ➔ Un conjunto de **áreas locales**
  - ➔ Un **troncal** (backbone)
- Los mensajes publicitando el costo de los enlaces sólo se distribuyen en el área local
  - ➔ Cada nodo tiene información detallada de la topología del área local
  - ➔ También cuenta con información de cuál es el camino más corto hacia las distintas redes en otras áreas



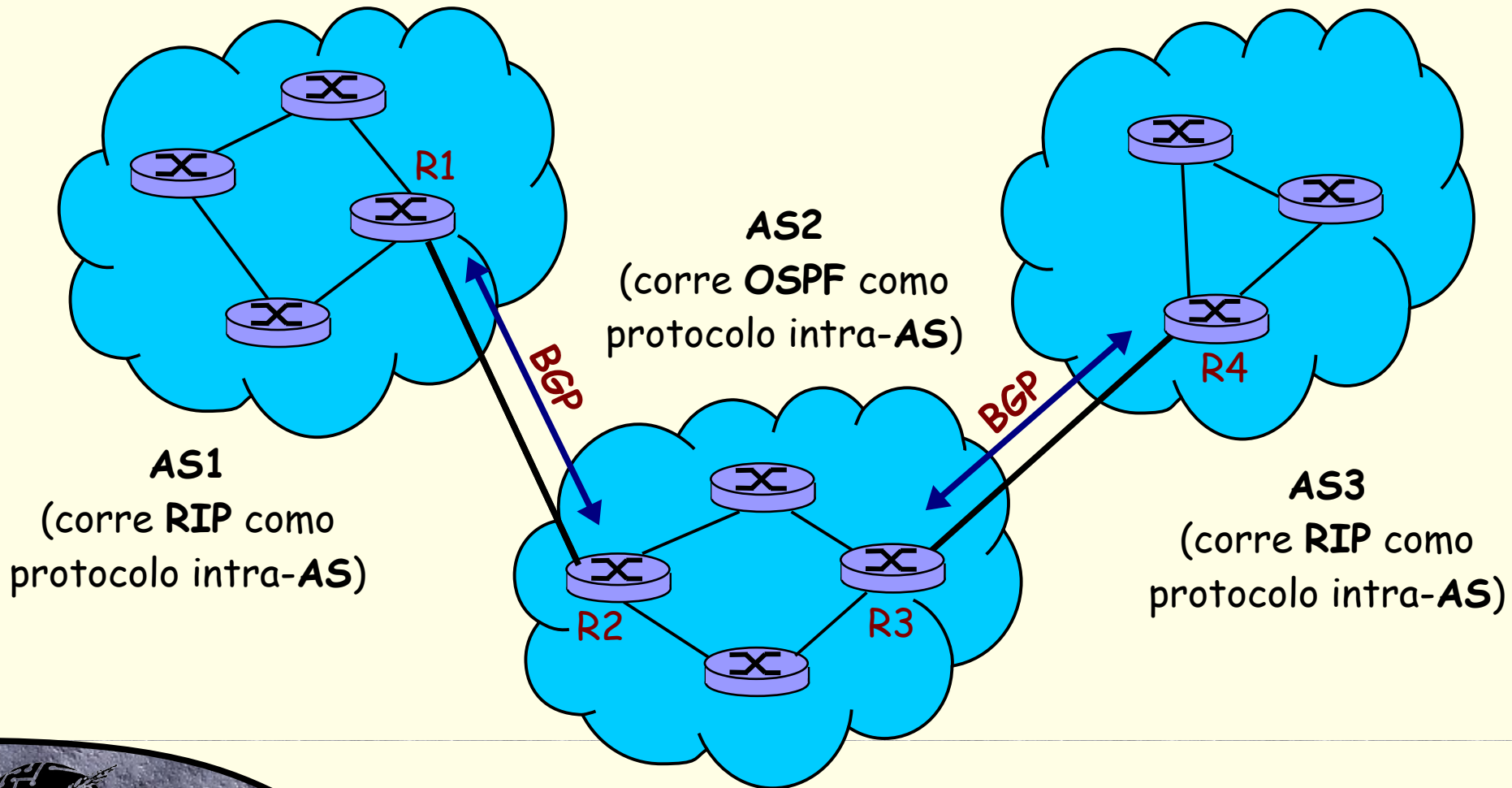


# OSPF jerárquico

- En base a la ubicación y el rol de cada uno de los routers **OSPF**, se distinguen principalmente cuatro categorías:
  - ➔ Router interno: sólo enruta tráfico dentro de su propia área
  - ➔ Router de frontera de área: recopila las distancias a las redes en su propia área y las publicita con los otros routers de frontera de área
  - ➔ Router troncal: corre el algoritmo de ruteo **OSPF**, pero con un alcance limitado al backbone
  - ➔ Router de frontera: se conecta con otros **AS**



# Protocolo BGP



# Protocolo BGP

- El protocolo **BGP** (Border Gateway Protocol) es el **estándar de facto** adoptado como algoritmo de ruteo inter-**AS**
  - Se define formalmente en el **RFC 4271**
- Se basa en el algoritmo **vector de caminos**
  - Análogo al algoritmo vector de distancias
  - Cada router gateway informa a sus vecinos **el camino completo a cada destino**
- **BGP** sólo se preocupa de rutear a redes (**AS**), no a computadoras individuales



# Rol del protocolo BGP

- El protocolo **BGP** desempeña un papel central en todo **AS**:
  - A través de las sesiones **eBGP** permite obtener información de la accesibilidad mediante los **AS** circundantes
  - Luego, esa información es propagada a todos los routers del **AS** mediante las sesiones **iBGP**
  - Esta información permite determinar las rutas óptimas a cada subred
  - En cierta forma, **BGP** permite que las distintas subredes digan fuerte y claro “aquí estoy”



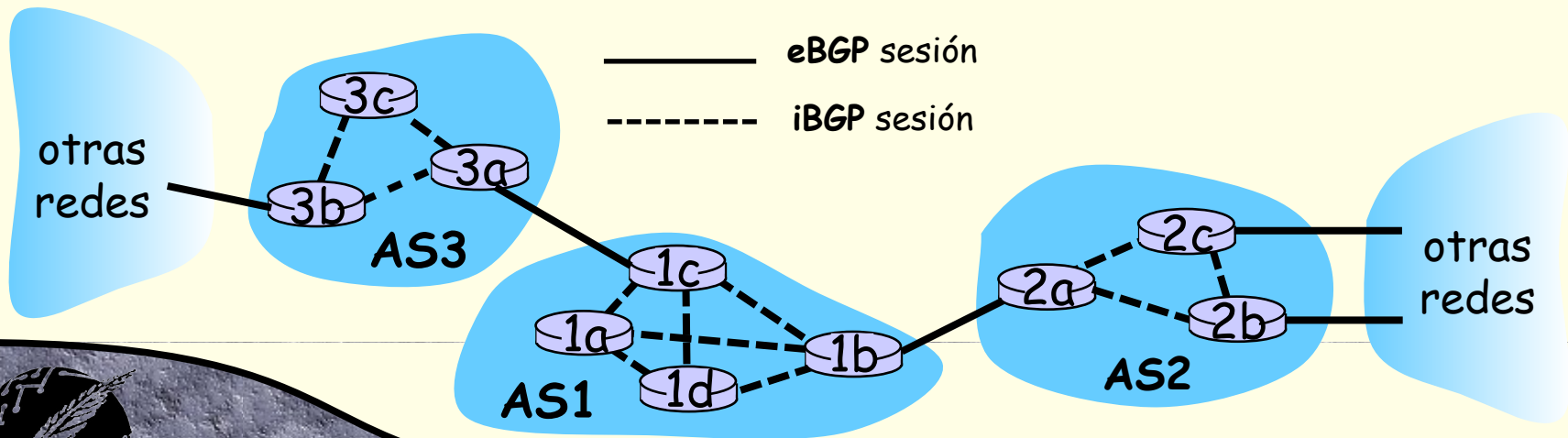
# Sesiones BGP

- Denominaremos **sesión BGP** al intercambio de información entre pares a través del protocolo
  - Los routers intercambian información acerca de la accesibilidad provista a distintos destinos
  - Esta información es intercambiada a través de conexiones **TCP** semi-permanentes
  - Cuando un dado router publicita una determinada ruta en esencia está comprometiéndose a encauzar tráfico hacia ese destino
  - Es conveniente hacer uso del agregado de rutas



# Sesiones BGP

- Usando una sesión **eBGP** entre **3a** y **1c**, **AS3** envía los prefijos que puede alcanzar a **AS1**
- **1c** luego usa sesiones **iBGP** para distribuir estos prefijos al resto del **AS**
- **1b** puede seguir propagando esta información a **AS2** usando la sesión **eBGP** entre **1b** y **2a**



# Atributos de rutas

- En la jerga **BGP**, una ruta se compone del prefijo de red más un conjunto de atributos:
  - ➔ **AS-PATH**: este atributo recopila la secuencia de **AS** que el prefijo publicitado ha atravesado
  - ➔ **NEXT-HOP**: este atributo registra el **IP** del gateway dispuesto a recibir el tráfico originado fuera del **AS** que tenga como destino ese prefijo de red
- En cierto sentido, el atributo **NEXT-HOP** vincula la información manejada a nivel intra-**AS** con la intercambiada a nivel inter-**AS**



# Selección de rutas

- Un router al recibir una nueva ruta puede optar por aceptarla o no en función de su política
- Para elegir entre múltiples rutas a un mismo destino cuenta con diversos criterios:
  - La preferencia local (es decir, su política)
  - El camino **AS-PATH** de menor longitud
  - El router **NEXT-HOP** más próximo (hot potato routing)
  - Otros criterios estipulados por el administrador local





# Mensajes BGP

- El protocolo **BGP** implementa su funcionalidad a través del siguiente conjunto de mensajes:
  - **OPEN**: establece una conexión **TCP** autenticada con un vecino inmediato
  - **UPDATE**: publicita un nuevo camino o bien retira una ruta previamente publicada
  - **KEEPALIVE**: sirve para mantener una conexión activa aun al no disponer de nuevos mensajes de **UPDATE**
  - **NOTIFICATION**: se usa para reportar que en el mensaje anterior se detectó un error; también sirve para cerrar una conexión



# ¿Preguntas?

