



tutoría Redes de Datos

Capítulo 4: Enrutamiento

Tabla de ruteo

```
route -n
```

Kernel IP routing table

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
0.0.0.0	192.168.31.1	0.0.0.0	UG	100	0	0	eno2
169.254.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	1000	0	0	eno2
172.17.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	0	0	0	docker0
192.168.31.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	100	0	0	eno2

- Se puede completar la tabla de forma estática o dinámica

Tipos de enrutamiento

	Enrutamiento dinámico	Enrutamiento estático
Complejidad de la configuración	Por lo general es independiente del tamaño de la red	Se incrementa con el tamaño de la red
Conocimientos requeridos del administrador	Se requiere de un conocimiento avanzado	No se requieren conocimientos adicionales
Cambios de topología	Se adapta automáticamente a los cambios de topología	Se requiere la intervención del administrador
Escalamiento	Adecuado para las topologías simples y complejas	Adecuada para topologías simples
Seguridad	Es menos seguro	Más segura
Uso de recursos	Utiliza CPU, memoria y ancho de banda de enlace	No se requieren recursos adicionales
Capacidad de predicción	La ruta depende de la topología actual	La ruta hacia el destino es siempre la misma

Protocolos para caminos dinámicos

	Distance Vector	Link State
Internos	RIP, RIPv2, EIGRP	OSPF, IS-IS
Externos	BGP	

Distance Vector

- Cada nodo mantiene un arreglo que contiene las distancias a todos los otros nodos y se la comunica a todos sus vecinos.
- Inicialmente la tabla tiene la información para los vecinos directos y para los otros el valor es infinito.
- Utiliza el algoritmo de Bellman-Ford para calcular las rutas.
- Lo usa el protocolo RIP (Routing Information Protocol), que hasta 1988 era el único utilizado en Internet.

Situación inicial

Destination	Cost	NextHop
B	1	B
C	1	C
D	INF	--
E	1	E
F	1	F
G	INF	--

Information Stored at Node	Distance to Reach Nodes						
	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	INF	1	1	INF
B	1	0	1	INF	INF	INF	INF
C	1	1	0	1	INF	INF	INF
D	INF	INF	1	0	INF	INF	1
E	1	INF	INF	INF	0	INF	INF
F	1	INF	INF	INF	INF	0	1
G	INF	INF	INF	1	INF	1	0

Situación final

Destination	Cost	NextHop
B	1	B
C	1	C
D	2	C
E	1	E
F	1	F
G	2	F

Information Stored at Node	Distance to Reach Nodes						
	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	2	1	1	2
B	1	0	1	2	2	2	3
C	1	1	0	1	2	2	2
D	2	2	1	0	3	2	1
E	1	2	2	3	0	2	3
F	1	2	2	2	2	0	1
G	2	3	2	1	3	1	0

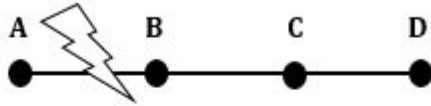
Distance Vector

- El proceso necesario para que todos los nodos tengan una visión consistente de la red, se llama convergencia.
- Se envían actualizaciones a los vecinos en dos circunstancias: periódicamente a intervalos regulares y cuando se recibe una notificación de cambio desde un vecino.
- RIP cuenta los saltos efectuados hasta llegar al destino mientras que IGRP utiliza otra información como el retardo y el ancho de banda.
- Este proceso se conoce también como “enrutamiento por rumor” ya que los nodos utilizan la información de sus vecinos y no pueden comprobar a ciencia cierta si ésta es verdadera o no.

Problemas en Distance Vector

Este problema se llama count-to-infinity.

Link Between A & B is Broken



	A	B	C	D
A	0, -	1, A	2, B	3, C
B	1, B	0, -	2, C	3, D
C	2, B	1, C	0, -	1, D
D	3, B	2, C	1, D	0, -

	B	C	D
Sum of Weight to A after link cut	∞ , A	2, B	3, C
Sum of Weight to A after 1 st updating	3, C	2, B	3, C
Sum of Weight to A after 2 nd updating	3, C	4, B	3, C
Sum of Weight to A after 3 rd updating	5, C	4, B	5, C
Sum of Weight to A after 4 th updating	5, C	6, B	5, C
Sum of Weight to A after 5 th updating	7, C	6, B	7, C
Sum of Weight to A after n th updating			
∞	∞	∞	∞

Distance Vector

- Una primera aproximación es definir $INF=16$, lo que reduce el tiempo de convergencia.
- Otra técnica llamada split horizon, consiste en no enviar las actualizaciones de ruta al vecino del cual se aprendieron.
- Otra técnica más fuerte es split horizon with poison reverse, que consiste en que un nodo sí le envía la actualización aprendida al nodo de quién la aprendió, pero con distancia INF .
- Estas técnicas afectan la velocidad de convergencia del protocolo, y por lo mismo no se usa en redes grandes.

RIP (Routing Information Protocol)

- Viene provisto por el demonio routed en Unix, y fue introducido en Berkeley para mantener tablas correctas en sus redes locales.
- La idea es mantener en la tabla de ruteo, además de la red y el gateway, una métrica que cuente la distancia a la que se encuentra el host de esa red.



RIP

- Para elegir una ruta, compara las métricas (al recibir una tabla, le suma 1 a todas sus métricas, puesto que las redes están a un router más de distancia) y se queda con la más pequeña.
- En caso de igualdad, se queda con la ruta antigua, para evitar cambios permanentes en las rutas.

RIPv1 ([RFC 1058](#)) 1988

No soporta subredes, no posee mecanismos de autenticación y no realiza actualizaciones desencadenadas por eventos. Todas estas limitaciones hicieron que con el paso del tiempo y las nuevas necesidades cayera en desuso.

```
▼ Routing Information Protocol
  Command: Response (2)
  Version: RIPv1 (1)
  ▼ IP Address: 10.0.3.0, Metric: 1
    Address Family: IP (2)
    IP Address: 10.0.3.0 (10.0.3.0)
    Metric: 1
  ▼ IP Address: 10.0.4.0, Metric: 2
    Address Family: IP (2)
    IP Address: 10.0.4.0 (10.0.4.0)
    Metric: 2
  ▼ IP Address: 192.168.2.0, Metric: 1
    Address Family: IP (2)
    IP Address: 192.168.2.0 (192.168.2.0)
    Metric: 1
  ▼ IP Address: 192.168.4.0, Metric: 2
    Address Family: IP (2)
    IP Address: 192.168.4.0 (192.168.4.0)
    Metric: 2
```

RIPv2 ([RFC 1723](#)) 1994

Soporta subredes, resumen de rutas, posee mecanismos de autenticación mediante texto plano o codificación MD5, realiza actualizaciones desencadenadas por eventos.

```
▼ Routing Information Protocol
  Command: Response (2)
  Version: RIPv2 (2)
  Routing Domain: 0
  ▼ IP Address: 10.0.0.4, Metric: 1
    Address Family: IP (2)
    Route Tag: 0
    IP Address: 10.0.0.4 (10.0.0.4)
    Netmask: 255.255.255.252 (255.255.255.252)
    Next Hop: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Metric: 1
  ► IP Address: 10.0.0.12, Metric: 2
  ► IP Address: 192.168.1.0, Metric: 1
  ► IP Address: 192.168.3.0, Metric: 2
```

Actualización de tabla

RIP actualiza cada 30 segundos utilizando el protocolo UDP y el puerto 520, enviando la tabla de enrutamiento completa a sus vecinos.

Las rutas tienen un TTL (tiempo de vida) de 180 segundos, es decir que si en 6 intercambios la ruta no aparece activa, esta es borrada de la tabla de enrutamiento.

Filter:	rip && ip.src == 192.168.1.2	▼	Expression...	Clear	Apply
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
201	716.882045	192.168.1.2	224.0.0.9	RIPv2	Response
209	744.879940	192.168.1.2	224.0.0.9	RIPv2	Response
219	773.215155	192.168.1.2	224.0.0.9	RIPv2	Response
227	802.353044	192.168.1.2	224.0.0.9	RIPv2	Response
235	828.653489	192.168.1.2	224.0.0.9	RIPv2	Response
243	856.169863	192.168.1.2	224.0.0.9	RIPv2	Response
253	884.428621	192.168.1.2	224.0.0.9	RIPv2	Response
262	912.934441	192.168.1.2	224.0.0.9	RIPv2	Response

Distancia Administrativa

RIP es un protocolo de enrutamiento con una distancia administrativa de 120 (cuanto menor sea la distancia administrativa el protocolo se considera más confiable) y utiliza un algoritmo de vector distancia utilizando como métrica el número de saltos.

```
Router#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

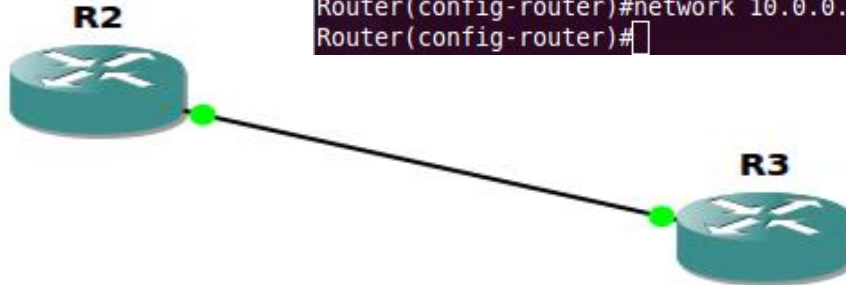
    172.16.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       172.16.0.0 is directly connected, FastEthernet0/1
R       10.0.0.0/8 [120/1] via 192.168.1.3, 00:00:22, FastEthernet0/0
C       192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
```


En la práctica

```
Router#ping 10.0.0.3
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.3, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
Router#ping 10.0.0.3

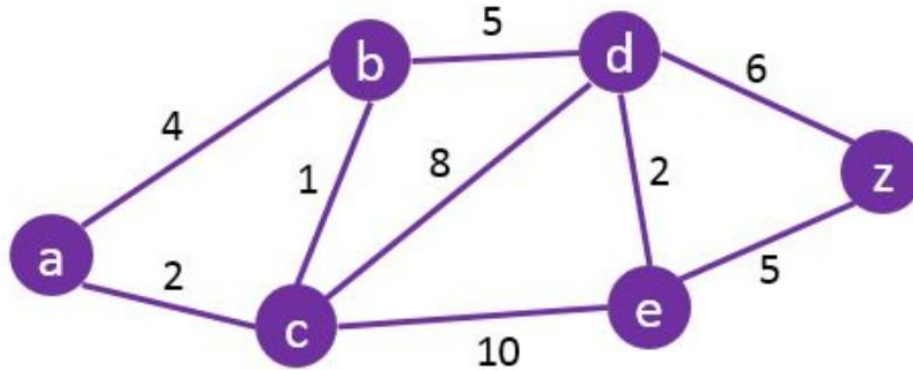
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.3, timeout is 2 seconds:
!!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 4/11/28 ms
Router#

Router(config)#router rip
Router(config-router)#version 2
Router(config-router)#network 192.168.1.0
Router(config-router)#network 10.0.0.0
Router(config-router)#
```



Enrutamiento por estado de enlace

- El algoritmo de Dijkstra permite encontrar la ruta más corta entre dos nodos en un grafo.
- La ruta más corta no se refiere a la ruta con menos cantidad de saltos.



Link State

- Asume que cada nodo es capaz de detectar el “estado” del enlace con sus vecinos.
- Cada nodo sabe como llegar a sus vecinos directos. Toda esa información es diseminada por toda la red.
- Así, cada nodo es capaz de tener una visión completa de la red y con ello poder calcular el camino más corto a cada destino.

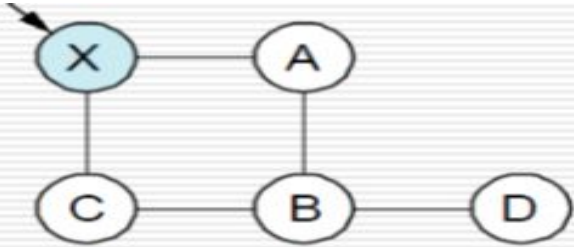


Link State

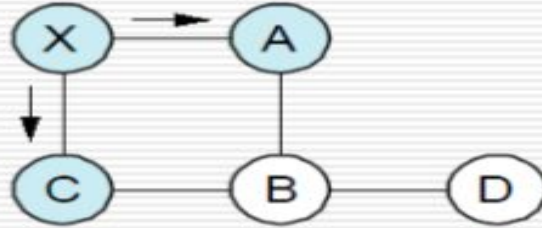
- Este tipo de protocolo se basa en comunicar a todos los miembros la situación de los enlaces.
- Para comunicar esa información, se hace un flooding de la red, que quiere decir que cada nodo le entrega su información a todos sus vecinos y así sucesivamente.



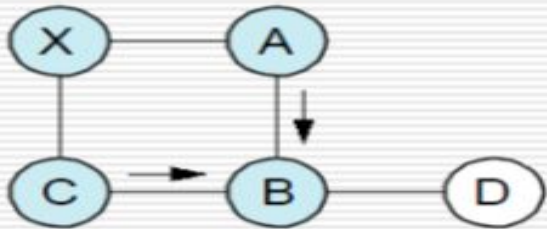
Proceso de flooding



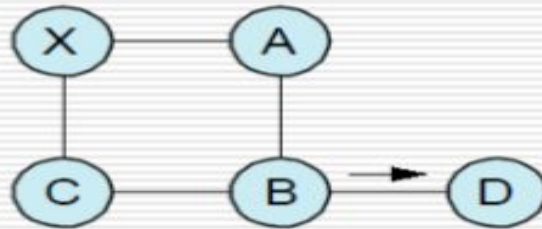
(a)



(b)



(c)



(d)

Contenido de LSP (Link-State Packets)

- ID del nodo que creó el LSP.
- Una lista de los vecinos directamente conectados a ese nodo con el costo del enlace a cada uno.
- Un número de secuencia.
- Un TTL para el paquete.
- Los dos primeros campos se usan para calcular las rutas y los dos últimos para asegurar el proceso de flooding. La confiabilidad del proceso incluye asegurarse que todos los nodos tienen la información actualizada.

Proceso LSP

- Si un nodo X recibe una copia de un LSP de parte de un nodo Y, éste verifica si ya tiene información almacenada proveniente de Y.
- Si no tiene, la almacena
- Si tiene, compara el número de secuencia
- Si el nuevo LSP tiene un número mayor, lo considera más nuevo y actualiza su tabla con su información, además de enviarlo a todos sus vecinos, menos aquel que nos lo envió (split-horizon).
- Si la secuencia es menor o igual, se descarta.

Difusión de LSP

Se generan en dos circunstancias:

- A intervalos regulares de tiempo. Estos intervalos son amplios (algunas horas) para reducir el sobrecosto.
- Al producirse un cambio en la topología. Para detectar éstos el protocolo envía mensajes “Hello” regularmente. Si no se ha escuchado un “Hello” desde un vecino en cierto tiempo, se declara el enlace como “fuera de servicio” y se genera un LSP para anunciarlo.

Open Shortest Path First (OSPF)

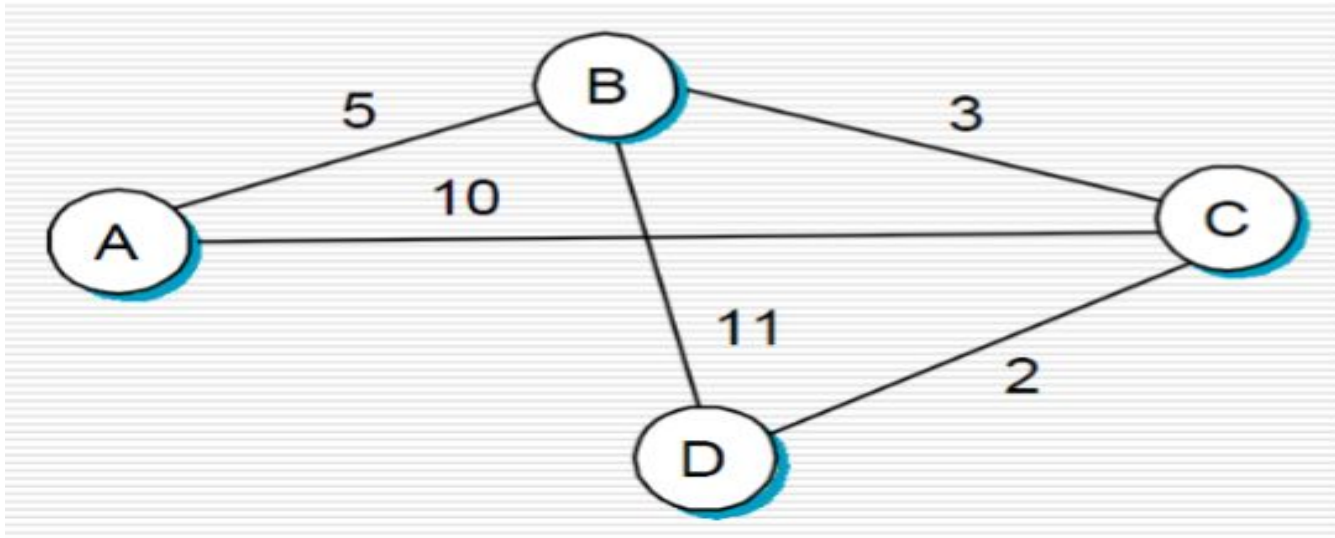
- Se mantienen dos listas: Tentative y Confirmed, donde cada entrada es de la forma <Destination, Cost, NextHop>
- Se inicializa Confirmed con una entrada para mi host, con costo 0.
- Para el nodo recién agregado a la lista Confirmed, que llamaremos Next, revisaremos sus LSP.
- Para cada vecino <Neighbor> de Next, calculamos el costo <Cost> de llegar a <Neighbor> como la suma del costo desde mi a Next y desde Next a Neighbor.

Open Shortest Path First (OSPF)

- Si Neighbor no está en la lista Tentative ni en Confirmed, agrego <Neighbor, Cost, NextHop> donde Next Hop es quien permite llegar a Neighbor.
- Si Neighbor está en la lista Tentative y el costo es menor que el actual costo, reemplazo la actual entrada con <Neighbor, Cost, Next Hop>
- Si la lista Tentative está vacía, se detiene. Sino, elijo la entrada de Tentative que tenga el costo más bajo, la muevo a la lista Confirmed y vuelvo al paso 2.

Ejemplo Link State

Haremos el proceso de construcción de la tabla para el nodo D. Nótese que los enlaces tienen costos diferentes.



Paso1

Paso	Confirmed	Tentative	Comentarios
1	(D,0,-)		Debido a que D es el único miembro de la lista, revisamos sus LSP
2	(D,0,-)	(B,11,B) (C,2,C)	D dice que puede alcanzar a B a costo 11, que es mejor que lo que tiene, así que se agrega a la lista Tentative; lo mismo para C
3	(D,0,-) (C,2,C)	(B,11,B)	Agregamos el miembro de Tentative con menor costo a Confirmed. Luego revisamos los LSP para este nuevo miembro.

Paso2

4	(D,0,-) (C,2,C)	(B,5,C) (A,12,C)	Se puede alcanzar a B a través de C con costo 5, así que reemplazamos. C dice que puede alcanzar a A con costo 12.
5	(D,0,-) (C,2,C) (B,5,C)	(A,12,C)	Agregamos el miembro de Tentative con menor costo a Confirmed. Luego revisamos los LSP para este nuevo miembro.
6	(D,0,-) (C,2,C) (B,5,C)	(A,10,C)	Debido a que podemos alcanzar A con costo 5 a través de B, reemplazamos en Tentative
7	(D,0,-) (C,2,C) (B,5,C) (A,10,C)		Agregamos el miembro de Tentative con menor costo a Confirmed. Con eso terminamos.

Validemos...

Filter: ospf ▼ Expression...					
Nº ▼	Time	Source	Destination	Protocol	Info
200	420.15633	192.168.0.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
202	424.36119	192.168.0.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
203	425.83858	192.168.0.2	224.0.0.5	OSPF	LS Update
204	428.34420	192.168.0.1	224.0.0.5	OSPF	LS Acknowledge
206	430.15908	192.168.0.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
208	434.35959	192.168.0.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
211	440.15716	192.168.0.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
213	444.35949	192.168.0.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
214	448.43864	192.168.0.1	224.0.0.5	OSPF	LS Update
216	450.15878	192.168.0.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
218	450.93951	192.168.0.2	224.0.0.5	OSPF	LS Acknowledge
219	454.35974	192.168.0.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
221	460.15651	192.168.0.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet

Distancia administrativa

OSPF tiene una distancia administrativa de valor 110.

```
192.168.0.0/30 is subnetted, 1 subnets
C      192.168.0.0 is directly connected, FastEthernet1/0
O      192.168.1.0/24 [110/2] via 192.168.0.2, 00:00:30, FastEthernet1/0
C      192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet1/1
```

RIP vs OSPF

En un link-state el tiempo de convergencia puede ser de 4 o 5 segundos según la red, en cambio en RIP es de 180 segundos.





HURRICANE ELECTRIC INTERNET SERVICES

Home

Welcome to the Hurricane Electric BGP Toolkit.

You are visiting from 200.14.84.102



Announced as 200.14.84.0/22 (Universidad Diego Portales)



Your ISP is AS6505 (EQUANT DO BRASIL)

Network Info

Whois

DNS

IRR

Announced By

Origin AS	Announcement	Description
<u>AS6505</u>	<u>200.14.84.0/22</u>	Universidad Diego Portales

Announced By

Origin AS	Announcement	Description
<u>AS10753</u>	<u>200.14.84.0/24</u>	

whois 200.14.84.0/22

% IP Client: 190.216.145.52

% Joint Whois - whois.lacnic.net

% This server accepts single ASN, IPv4 or IPv6 queries

% LACNIC resource: whois.lacnic.net

% Copyright LACNIC lacnic.net

% The data below is provided for information purposes

% and to assist persons in obtaining information about or

% related to AS and IP numbers registrations

% By submitting a whois query, you agree to use this data

% only for lawful purposes.

% 2023-12-21 15:57:58 (-03 -03:00)

inetnum: 200.14.84.0/22

status: assigned

aut-num: N/A

owner: Universidad Diego Portales

ownerid: CL-UDPO-LACNIC

responsible: ElÃ as PÃerez Morales

address: Manuel Rodriguez sur 333, 415, 3er piso

address: 12345 - Santiago -

country: CL

phone: +56 2 6762057

Autonomous Systems

- Unidades bajo la misma administración, permite agregación de direcciones con el objetivo de reducir la cantidad de información global, y con ello permitir una mejor escalabilidad.
- Dentro de los AS se pueden usar protocolos internos (IGP) o externos, pero entre AS se usan protocolos externos (EGP).

Exterior Gateway Protocol

- Se basa en el sondeo periódico empleando intercambios de mensajes "Hello/I Hear You", para monitorizar la accesibilidad de los vecinos y para sondear si hay solicitudes de actualización.
- Border Gateway Protocol es el más popular de los protocolos EGP y se utiliza casi sin cambios desde el año 1995.
- BGP trabaja con redes de diferentes sistemas autónomos, publicando sus propias redes y determinando a través de que otro sistema autónomo se puede llegar a un tercero.
- BGP también tiene varias funciones de filtrado para permitir informar o no sobre las rutas que tiene y a que router externo AS lo dice.

Internal Gateway Protocol

- Los IGP son protocolos de enrutamiento que pertenecen a un solo AS, y es administrado por una sola entidad, ejemplos de estos son el RIP, RIPv2, OSPF, IGRP y EIGRP (Cisco).
- Los IGP se utilizan en routers internos y los EGP se utilizan en routers fronterizos y externos.

Desafíos

- Autonomía de cada sistema para calcular sus rutas internas. Ello no permite calcular el “costo” de un camino, por lo que sólo se anuncia la capacidad de alcanzar una red.
- Otro desafío involucra las políticas, pues generalmente se quiere privilegiar ciertos caminos para ciertos destinos (métricas y pesos).

