

3

PROTOCOLOS DE ROUTING IP



Objetivo

● Describir el routing IP dinámico o proceso global que realiza la red en conjunto para determinar las rutas, terminal a terminal, que los paquetes siguen desde el origen al destino.

Manual de clases

Última modificación:
9 de marzo de 2023

Tema 3 de:
ROUTING IP
Edison Coimbra G.

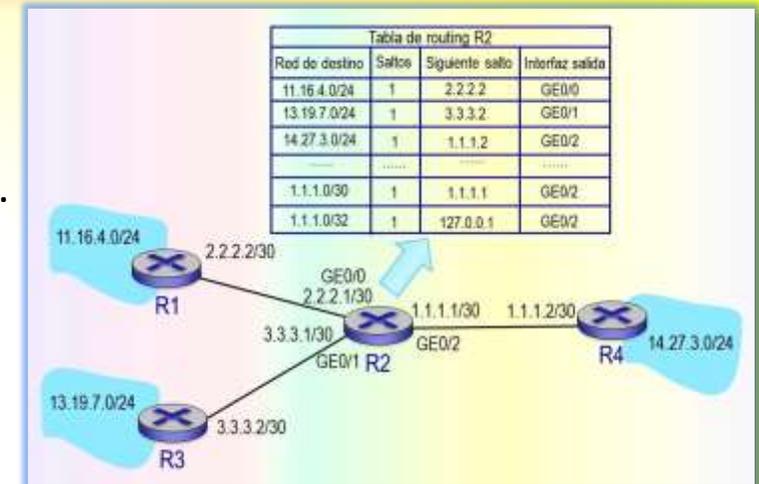
1. ROUTING DINÁMICO

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Routing dinámico

(Kurose, 2017)

- **El routing** es el proceso que el router utiliza para decidir por dónde enviar un paquete.
- **Se puede imaginar** al router como una oficina de correo, ahí reciben todas las cartas, las separan de acuerdo a su destino y las envían por la mejor ruta.
- **El router**, recibe los paquetes y consulta la **tabla de reenvío** que le dice cuál es la mejor ruta por donde enviar este paquete.
- **La tabla de reenvío** puede ser armada de **manera estática** o **dinámica**.
 - **Routing estático**. En este proceso, el administrador le dice a cada uno de los routers de la red por dónde enviar los paquetes que le lleguen con destino a cada una de las redes. El administrador decide cuál es la **mejor ruta**, y el router hace lo que se le indica.
 - **Routing dinámico**. En este proceso, es el router quien va a tomar su propia decisión para cada red. Esta tarea se delega a un **protocolo de routing** que va a decidir la mejor ruta. Ahora, la pregunta es: ¿cómo hace un protocolo de routing para decidir la mejor ruta?
- **El cálculo de la mejor ruta** lo realizan algoritmos tradicionales de routing que son la base de dos **protocolos de routing** ampliamente implantados en Internet: **OSPF** y **BGP**.
 - **OSPF** es un protocolo de routing que opera dentro de la red de un único ISP, mientras que **BGP** es un protocolo de routing que sirve para interconectar todas las redes de Internet; por ello se suele decir que BGP es el “pegamento” que mantiene unida a Internet.
 - **Tradicionalmente**, los protocolos de routing del plano de control se han implementado junto con las funciones de reenvío del plano de datos dentro de un router, en forma monolítica.

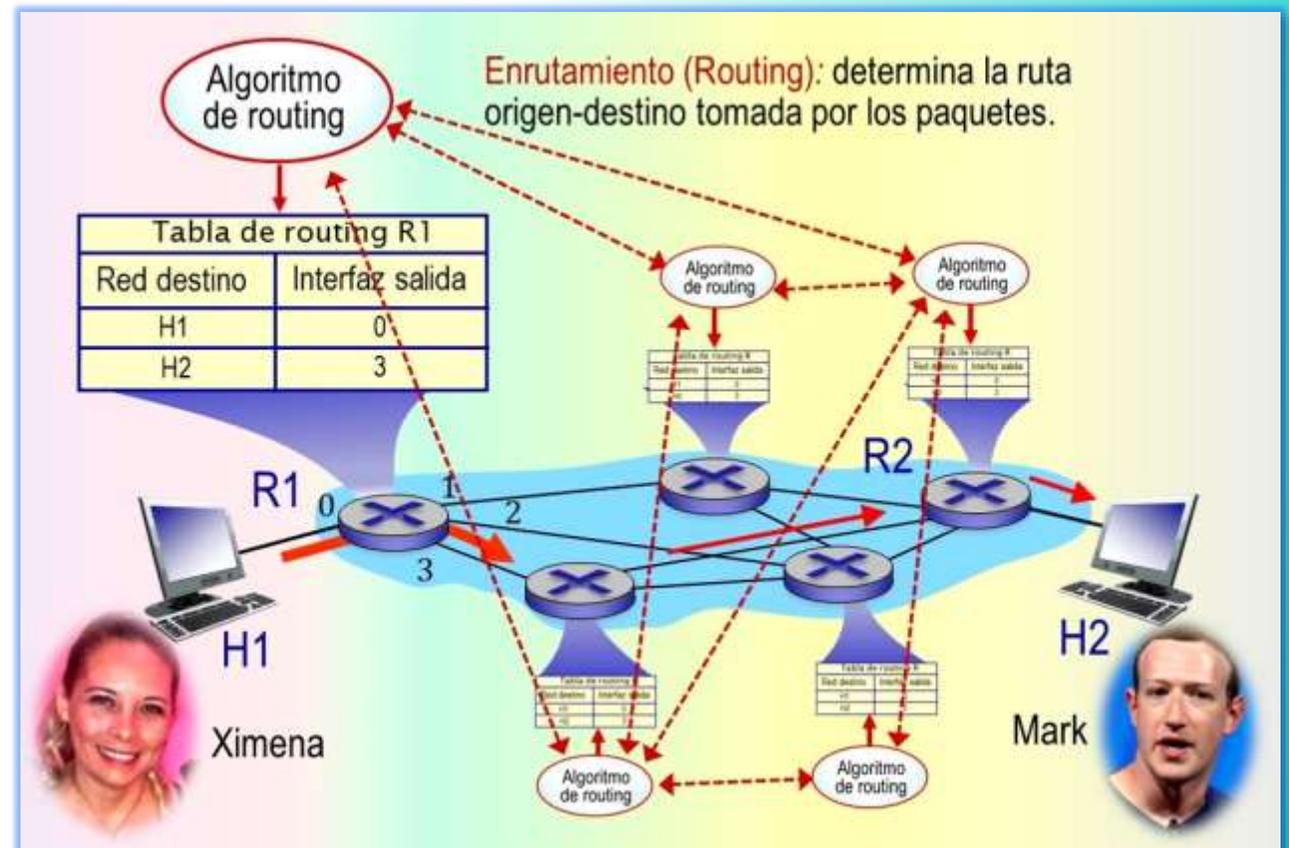


2. ALGORITMOS DE ROUTING

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

¿Cuál es el objetivo de los algoritmos de routing?

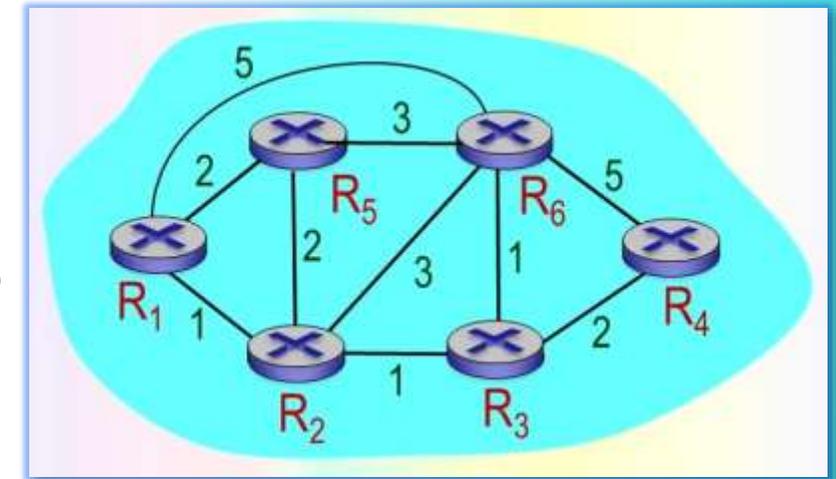
- **El objetivo** es determinar **buenas rutas** desde los emisores a los receptores, a través de la red de routers.
- **Normalmente**, una **buena ruta** es aquella que tiene el costo mínimo. Sin embargo, en la práctica, ciertos problemas del mundo real como las políticas de la organización (por ejemplo la ingeniería de tráfico) también entran en juego.
- **Hay que resaltar** que, independientemente del enfoque del plano de control de la red que se adopte, siempre debe existir una secuencia de routers bien definida que el paquete atravesará en su viaje desde el host emisor hasta el host receptor.
- **Por ello**, los algoritmos de routing que calculan están rutas tienen una importancia fundamental, siendo candidatos para la lista de los diez conceptos de redes más importantes.



Modelo de grafo abstracto de una red de computadoras

(Kurose, 2017)

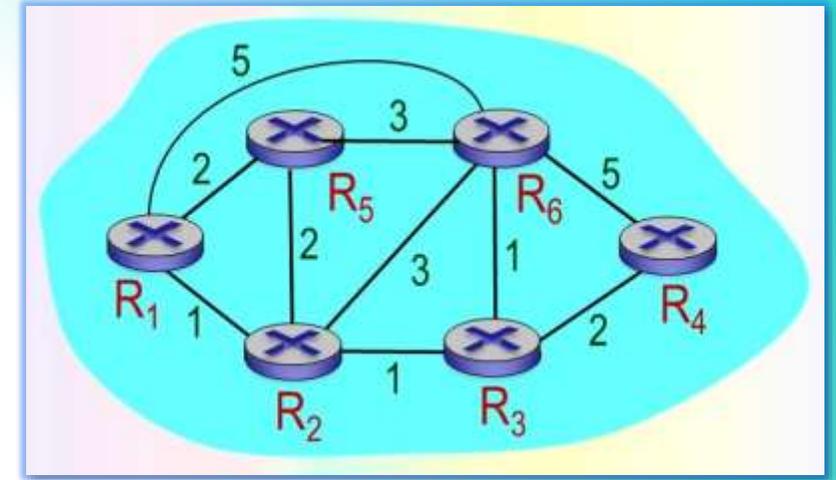
- **Para formular** los problemas de routing se utilizan **grafos**. Un grafo $G = (N,E)$ es un conjunto N de nodos y una colección E de aristas, donde cada arista es una pareja de nodos N .
- **En el contexto del routing** de la capa de red, los nodos del **grafo** representan los routers (los puntos en los que se toman las decisiones acerca del reenvío de los paquetes), mientras que las aristas que conectan esos nodos representan los enlaces físicos entre los routers. En la figura se muestra la abstracción en forma de grafo de una red de computadoras.
- **Una arista** también tiene un valor que representa su costo. Normalmente, el costo de una arista puede reflejar:
 - ▶ **La longitud física** del enlace correspondiente (por ejemplo, un enlace transoceánico tendría un costo mayor que un enlace terrestre de corto enlace).
 - ▶ **La velocidad del enlace**. Expresado en ancho de banda.
 - ▶ **El costo monetario** asociado con el enlace.
- **Para este estudio**, se utilizará el costo del enlace como algo que viene dado, sin la preocupación de cómo se determina.
 - **Para cualquier** arista (x,y) se denominará $c(x,y)$ al costo de la arista que conecta los nodos x e y .
 - **Solo se van a considerar** los grafos no dirigidos, de modo que la **arista** $(x,y) = \text{arista } (y,x)$, además el costo $c(x,y) = c(y,x)$. Sin embargo, los algoritmos pueden generalizarse fácilmente para el caso de enlaces dirigidos que tengan un costo diferente en cada dirección.



Cálculo de la ruta de costo mínimo

(Kurose, 2017)

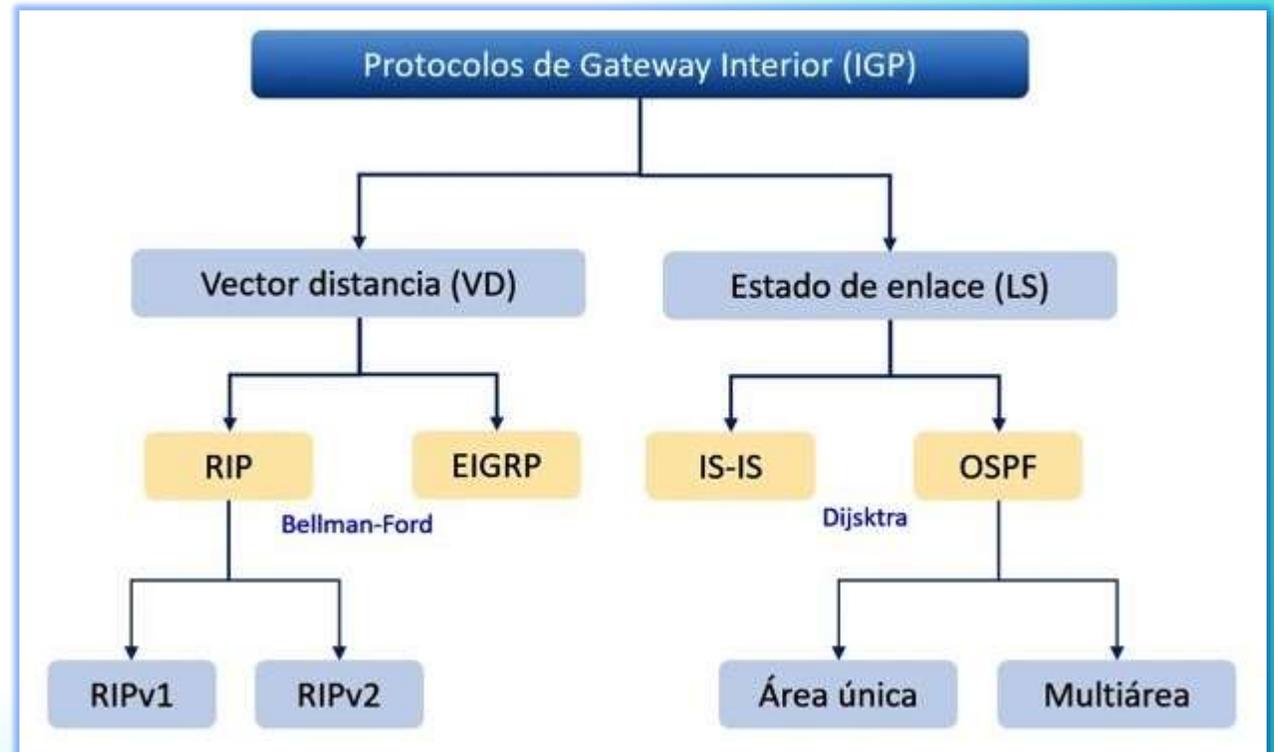
- **Dado que** las distintas aristas del grafo tienen costos asignados, entonces el objetivo de un algoritmo de routing será identificar las rutas de costo mínimo entre los orígenes y los destinos.
 - ▶ **Para definir** este problema de manera más precisa, se debe considerar que una ruta en un grafo es una secuencia de nodos (x_1, x_2, \dots, x_p) .
 - ▶ **El costo** de una ruta (x_1, x_2, \dots, x_p) es simplemente la suma del costo de todas las aristas que componen la ruta; es decir $c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + \dots + c(x_{p-1}, x_p)$.
 - ▶ **Dados** dos nodos cualesquiera x e y , normalmente existen muchas rutas entre los dos nodos, teniendo cada una de ellas un costo. Una o más de estas rutas será una **ruta de costo mínimo**.
- **Por tanto**, el problema del costo mínimo está claro: hallar una ruta entre el origen y el destino que tenga el mínimo costo. En la figura, la ruta de costo mínimo entre el nodo de origen R_1 y el nodo de destino R_6 , es (R_1, R_2, R_3, R_6) , con un costo igual a 3.
- **Observe** que si todas las aristas del grafo tienen el mismo costo, la ruta de costo mínimo es también la ruta más corta (es decir, la ruta con el número mínimo de enlaces entre el origen y el destino).
- ▶ **Ejemplo 1.** Encuentre la ruta de costo mínimo desde el nodo R_1 al R_4 y reflexione sobre cómo ha calculado esa ruta.
 - ✉ **Seguramente**, ha trazado unas pocas rutas de R_1 a R_4 , y ha llegado al convencimiento de que la ruta que ha elegido es la de costo mínimo de entre todas las posibles rutas. (¿Ha comprobado las 17 rutas posibles entre R_1 y R_4 ? ¡Probablemente no!). Este cálculo es un ejemplo de algoritmo de routing, ejecutado en un lugar, en su cerebro, que dispone de la información completa de la red.



Clasificación de los algoritmos de routing

(Kurose, 2017)

- **Los algoritmos de routing** pueden clasificarse de acuerdo a tres criterios: **(1)** Centralización del cálculo, **(2)** Cambios en las rutas y **(3)** Sensibilidad a la carga.
- **Considerando** la utilidad práctica más frecuente, en esta presentación solo se analizarán los algoritmos clasificados según el criterio de la **centralización del cálculo**.
 - **▶ 1. Algoritmo de routing centralizado.** El cálculo se realiza en un **solo sitio** (enfoque con controlador centralizado) o en **todos los routers** (enfoque tradicional donde se replica en todos los routers). Se dispone de información de estado global, se denominan algoritmos de **estado de enlace, LS**.
 - **▶ 2. Algoritmo de routing descentralizado.** El cálculo se realiza de manera distribuida. Se denominan algoritmos de **vector distancia, VD**.
- **Estos algoritmos** son la base de los protocolos del mismo nombre.



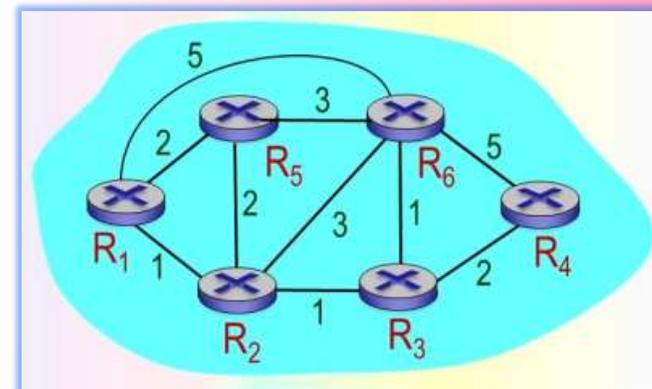
3. EL PROTOCOLO DE ROUTING OSPF

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

El protocolo de routing OSPF

(Kurose, 2017)

- **El protocolo de routing OSPF** (protocolo abierto de preferencia para la ruta más corta) y su pariente próximo IS-IS (Sistema intermedio- Sistema intermedio), se utilizan ampliamente para el routing interno en segmentos de red en Internet.
- **El 'Open' de OSPF** indica que la especificación del protocolo de routing está disponible públicamente (a diferencia, por ejemplo, del protocolo EIGRP de Cisco, que solo recientemente se ha convertido en abierto, después de ser durante unos 20 años un protocolo propietario).
- **OSPF es un protocolo** de estado de enlaces cuyo funcionamiento comprende tres fases.
- **Fase 1. Construcción de mapa topológico.** Con OSPF, cada router construye un mapa topológico completo (es decir, un grafo) de un segmento de red, con base a la información sobre la conectividad y los costos de cada uno de los enlaces.
 - **Esta información** se consigue haciendo que cada router, a través de un **algoritmo**, difunda paquetes del **estado y costo de sus enlaces** a todos los demás routers del segmento de red.
 - **El resultado de difundir** la información por parte de los routers es que todos tendrán una visión completa e idéntica del segmento de red.
 - **La información de estado de enlaces** se difunde cuando se produce un cambio en el estado de un enlace (de costo o de su estado activo/inactivo) o también difunde periódicamente el estado de enlace (al menos cada 30 minutos), incluso aunque el estado del mismo no haya cambiado.



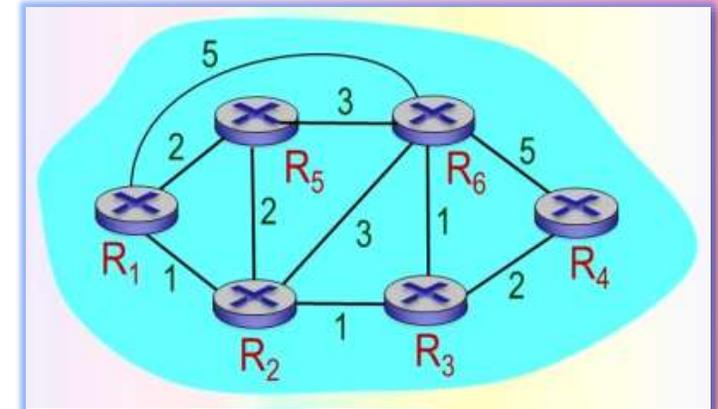
El protocolo de routing OSPF

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

El protocolo de routing OSPF (cont.)

(Kurose, 2017)

- ▶ **Fase 2. Cálculo de mejores rutas.** A continuación, cada router ejecuta localmente el **algoritmo de Dijkstra** (en honor a su inventor), el cual calcula la ruta de costo mínimo, desde un router de origen hasta todos los otros routers del segmento de red.
 - ✉ El **algoritmo Dijkstra** es iterativo (repite un determinado número de veces un conjunto de instrucciones) y tiene la propiedad de que después de la **K -ésima** iteración del algoritmo se conocen las rutas de costo mínimo hacia **K** routers de destino, es decir, estas **k** rutas tendrán los **k** costos más pequeños.
- ▶ **Fase 3. Difusión de información.** Con OSPF, cada router, a través de un algoritmo, difunde la información de routing a todos los demás routers del segmento de red, no solo a sus vecinos.
- ¿**Cómo se difunden los anuncios OSPF?** Están contenidos en mensajes OSPF que son transportados directamente por IP, siendo el número del protocolo de la capa superior para OSPF igual a 89. Por tanto, el protocolo OSPF tiene que implementar por si mismo funcionalidades tales como la de transferencia fiable de mensajes y la de envío de mensajes de difusión acerca del estado de enlaces.
- El **protocolo OSPF** también comprueba que los enlaces estén operativos (mediante un mensaje HELLO que se envía a un vecino conectado) y permite al router OSPF obtener de un vecino la base de datos de estado de los enlaces de toda la red.



El protocolo de routing OSPF

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Costo de los enlaces

- El **administrador** de la red configura los costos de los enlaces individuales, puede decidir hacer igual al 1 el costo de todos los enlaces, proporcionando así un routing con un número mínimo de saltos, o puede definir los pesos de los enlaces para que sean inversamente proporcionales a la capacidad de los mismos, con el fin de disuadir el tráfico de utilizar los enlaces con poco ancho de banda. En la [tabla de costos](#) de la figura se muestran los más comunes.
- En **términos de causa y efecto**, los pesos de los enlaces se conocen de antemano y dan como resultado (mediante el algoritmo de Dijkstra) las rutas que minimizan el costo global. Desde este punto de vista, los pesos de los enlaces reflejan el costo de utilizar un enlace (por ejemplo, si los pesos son inversamente proporcionales a la capacidad, entonces los enlaces de alta capacidad tendrían asociados pesos más pequeños y, por tanto, serían más atractivos desde el punto de vista del routing) y el algoritmo de Dijkstra sirve para minimizar el costo global.
- **OSPF no establece** una política para definir el peso de los enlaces (esta tarea le corresponde al administrador de la red), sino que proporciona el mecanismo (el protocolo) para determinar el routing de costo mínimo para el conjunto dado de pesos de los enlaces.
- **Con OSPF**, la principal herramienta de la que dispone el administrador para alterar el routing de los flujos a través de la red son los pesos de los enlaces.

Velocidad	Costo
4 Mbps	250
10 Mbps	100
16 Mbps	62
100 Mbps	19
1 Gbps	4
2 Gbps	3
5 Gbps	2,5
10 Gbps	2
100 Gbps	1

El protocolo de routing OSPF

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

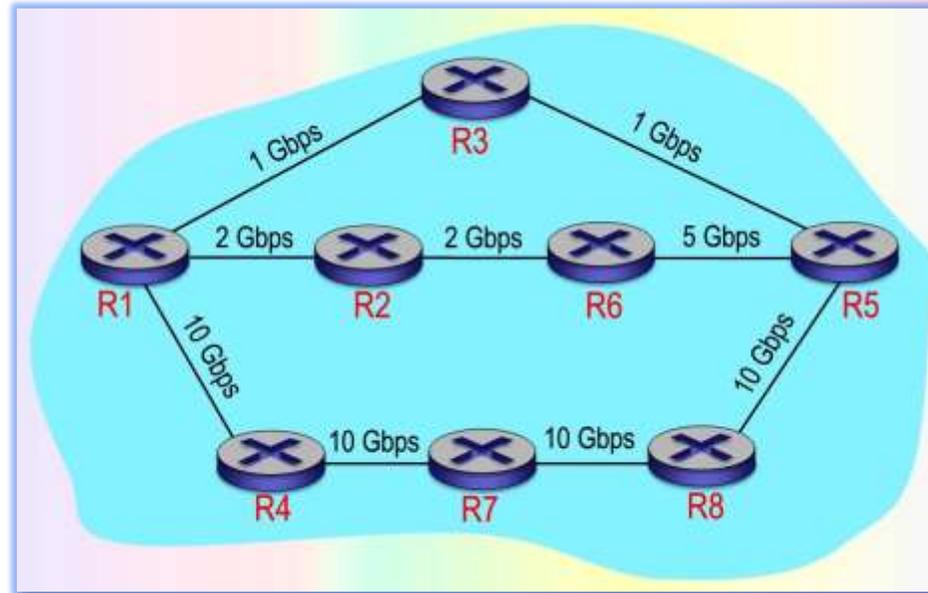
Algoritmo de routing estado de enlace – Un ejemplo sencillo

- **Los protocolos estado de enlaces** entienden que la red moderna tiene distintos enlaces y tratan de mejorar la manera de tomar decisiones. Estos protocolos evalúan los enlaces entre los routers por su ancho de banda. Así que cada una de las velocidades es representada por un costo. Cuanto menor es el costo para llegar a una red, mejor es considerada la ruta. En la [tabla de costos](#) de la figura se muestran los más comunes.

▪ **Ejemplo 2.** Si quiere ir del router **R1** al **R5**, ¿qué ruta indicaría un protocolo estado de enlace?

- **Si va por R3** tiene dos enlaces de 1 Gbps que según la tabla tienen un costo 4.
- **Si va por R2 – R6**, dos enlaces de 2 Gbps y uno de 5 Gbps, acá se toma el menor valor de los anchos de banda. La ruta como un todo, tiene un costo 3.
- **Si va por R4 – R7 – R8**, tiene cuatro enlaces de 10 Gbps, que tienen un costo de 2. Los protocolos Estado de Enlace siempre van a decidir por el menor costo, que es 2.
- **Respuesta correcta:** ruta por **R4 – R7 – R8**. Menor costo (2).

- **En su opinión** como administrador de red, ¿cuál es la mejor ruta? La mejor ruta es por donde haya mayor ancho de banda disponible.



Velocidad	Costo
4 Mbps	250
10 Mbps	100
16 Mbps	62
100 Mbps	19
1 Gbps	4
2 Gbps	3
5 Gbps	2,5
10 Gbps	2
100 Gbps	1

4. EL PROTOCOLO DE ROUTING RIP

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Algoritmo de routing por vector distancia

(Kurose, 2017)

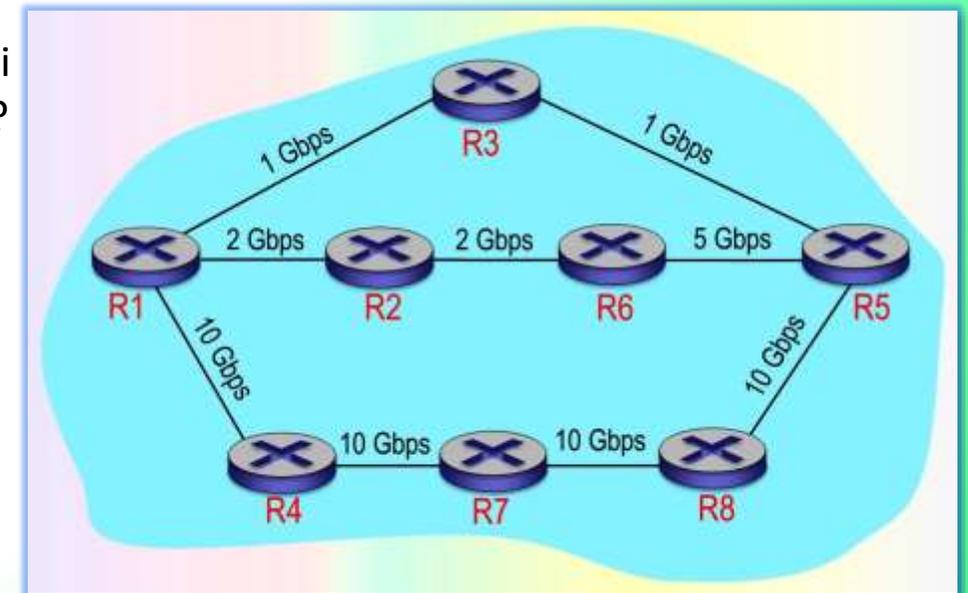
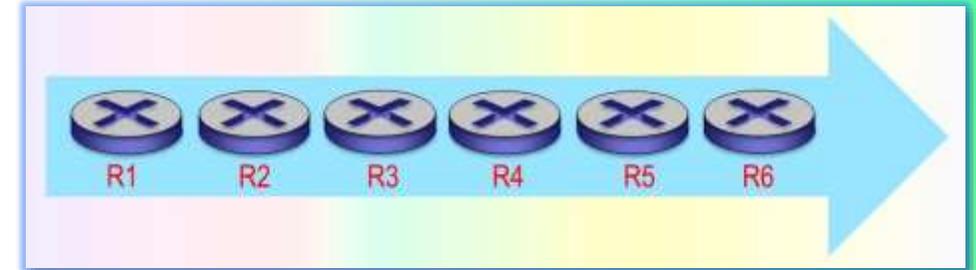
- **Mientras** que el algoritmo Estado de Enlace es un algoritmo que emplea información global, el algoritmo por **Vector Distancia (VD)** es distribuido, iterativo y asíncrono.
 - ▶ **Es distribuido** en el sentido de que cada router recibe información de uno o más de sus vecinos directamente conectados, realiza un cálculo y luego distribuye los resultados de su cálculo de vuelta a sus vecinos.
 - ▶ **Es iterativo** porque este proceso continua hasta que ya no se intercambia más información entre los vecinos. Resulta interesante observar que el algoritmo también finaliza por si mismo, es decir, no existe ninguna señal que indique que los cálculos deberían detenerse; simplemente se detienen.
 - ▶ **El algoritmo es asíncrono** en el sentido de que no requiere que todos los routers operen sincronizados entre si. Se dice que un algoritmo distribuido, iterativo y asíncrono y que finaliza por si mismo es mucho mas interesante y divertido que un algoritmo centralizado.
- **Para el cálculo** del costo de la ruta de costo mínimo entre dos routers se utiliza la **Ecuación de Bellman-Ford**, la cual no es únicamente una curiosidad intelectual; realmente tiene una importancia práctica significativa. En concreto, la solución de la **Ecuación de Bellman-Ford** proporciona las entradas de la tabla de reenvío de los routers.
- **En la práctica**, los algoritmos del tipo DV se utilizan en muchos protocolos de routing, entre ellos **RIP**, **BGP** y **EIGRP** de Internet.

El protocolo de routing RIP

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Algoritmo de routing vector distancia – Un ejemplo sencillo

- **Los protocolos vector distancia** tienen el concepto de que la red es un vector. Cuando usted se imagina un vector, se imagina una línea con un sentido y una dirección. Según la geometría, la línea está compuesta de varios puntos. Cada uno de estos puntos puede ser un router distinto. Si se quiere ir del router **R1 al R4**, se tiene que saltar por **R2 y R3**. Así trabajan los protocolos Vector Distancia, cada router es un salto.
- **Ejemplo 3.** Imagine ahora un escenario más complejo (segunda figura). ¿Si quiere ir del router **R1 al R5**, qué ruta indicaría un protocolo **vector distancia**? En este ejemplo hay varias rutas, con saltos y velocidades distintas.
- **Cambiando la pregunta**, en su opinión como administrador de red, ¿cuál es la mejor ruta? ¿Cuál es su respuesta? ¿La que tiene más ancho de banda? ¿La que tiene menos saltos?
- **El protocolo vector distancia** tiene una línea de pensamiento simple. Para él, la mejor ruta es la que tiene una menor cantidad de saltos.
- **En este caso**, mismo que la ruta que va por **R4** tenga mayor ancho de banda, el protocolo decidirá por **R3**, ya que solamente hay un salto. El protocolo que trabaja de esta manera es el **RIP**, en cualquiera de sus dos versiones.



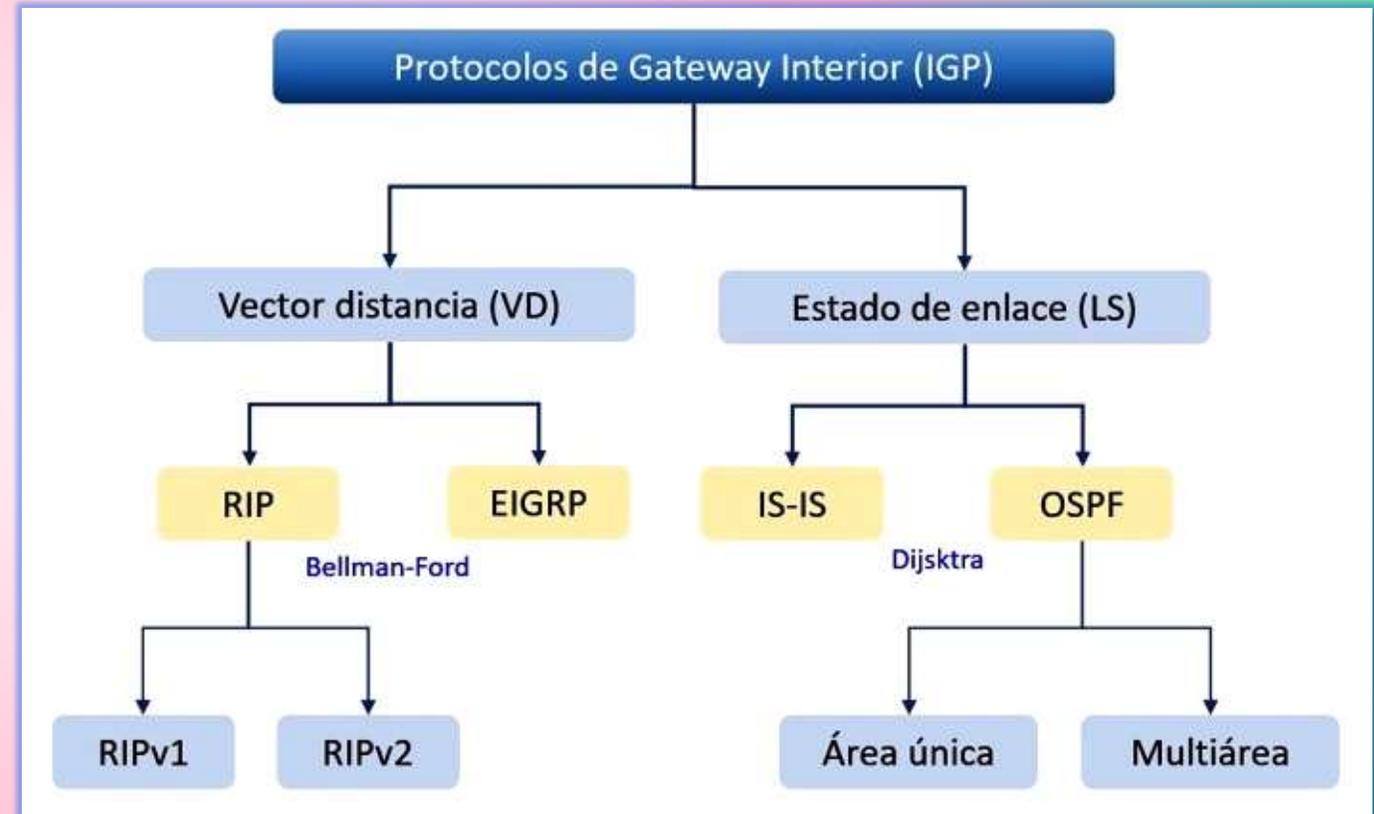
RESUMEN DE LOS ALGORITMOS DE ROUTING

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Resumen de los algoritmos base de los protocolos de routing

(Kurose, 2017)

- ▶ **El algoritmo Estado de Enlace (LS)** es centralizado, en el sentido de que requiere que cada router obtenga en primer lugar un mapa completo de la red antes de ejecutar el **algoritmo de Dijkstra**.
- ▶ **El algoritmo Vector Distancia (VD)** es descentralizado y no utiliza información global. La única información que tendrá un router es el costo de los enlaces a los vecinos a los que está directamente conectado y la información que recibe de esos vecinos.
 - ✉ Cada router espera recibir una actualización de cualquier vecino, y utiliza la **ecuación de Bellman-Ford** para calcular su nuevo vector de distancias cuando recibe una actualización y distribuye su nuevo vector de distancias a sus vecinos.



Reflexiones sobre el modelo de red de routers

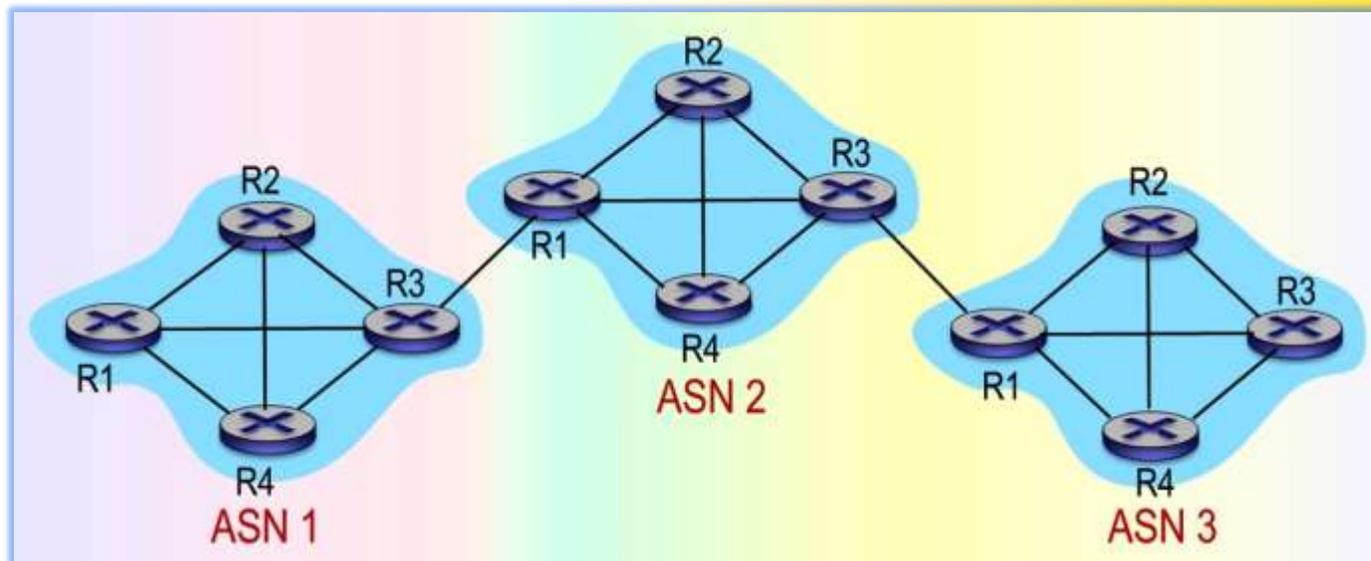
(Kurose, 2017)

- **En el estudio** de los algoritmos de routing **LS** y **VD**, se ha visto la red como una colección de routers interconectados e indistinguibles unos de otros, en el sentido de que ejecutan el mismo algoritmo de routing para calcular las rutas a través de la red completa. En la práctica, este modelo de red de routers es un poco simplista por dos razones:
 - **▶ 1.Escala.** Cuando el número de routers comienza hacerse grande, la sobrecarga implicada en la comunicación, cálculo y almacenamiento de la información de routing se hace prohibitiva. Actualmente, Internet consta de cientos de millones de routers.
 - **✉ Almacenar** la información de routing para todos los posibles destinos en cada uno de estos routers evidentemente requeriría enormes cantidades de memoria. La sobrecarga requerida para difundir las actualizaciones de conectividad y de costo de los enlaces entre todos los routers sería inmensa. Evidentemente, es preciso hacer algo para reducir la complejidad del cálculo de rutas en una red tan grande como Internet.
 - **▶ 2.Autonomía administrativa.** Internet es una red de ISP, donde cada uno de ellos tiene su propia red de routers. Un ISP generalmente desea operar su red a su antojo (por ejemplo, emplear el algoritmo de routing que desee dentro de su red) u ocultar al mundo exterior ciertos aspectos de la organización interna de su red.
 - **✉ Idealmente**, una organización debería poder operar y administrar su red como desee, sin que por ello deje de conectarla a otras redes externas.
- **Estos dos problemas** pueden resolverse organizando los routers en **sistemas autónomos (AS)**.

¿Qué son los sistemas autónomos (AS)?

(Kurose, 2017)

- **Los sistemas autónomos** (AS) son un grupo de routers que se encuentran bajo el mismo control administrativo.
- **A menudo**, los routers de un ISP y los enlaces que los interconectan constituyen un único AS. Otros ISP, sin embargo, dividen su red en múltiples AS. La red sencilla de la figura tiene tres AS.
- **Cada AS** se identifica mediante su **número de sistema autónomo** (ASN), que es único globalmente.
- **En particular**, algunos ISP de Nivel 1 utilizan un solo AS gigante para toda su red, mientras que otros ISP dividen su red en decenas de AS interconectados.
- **Los routers** de un mismo AS ejecutan todos ellos el mismo algoritmo de routing y disponen de información unos de otros. El algoritmo routing que se ejecuta dentro de un AS se denomina **protocolo de routing interno del sistema autónomo**.



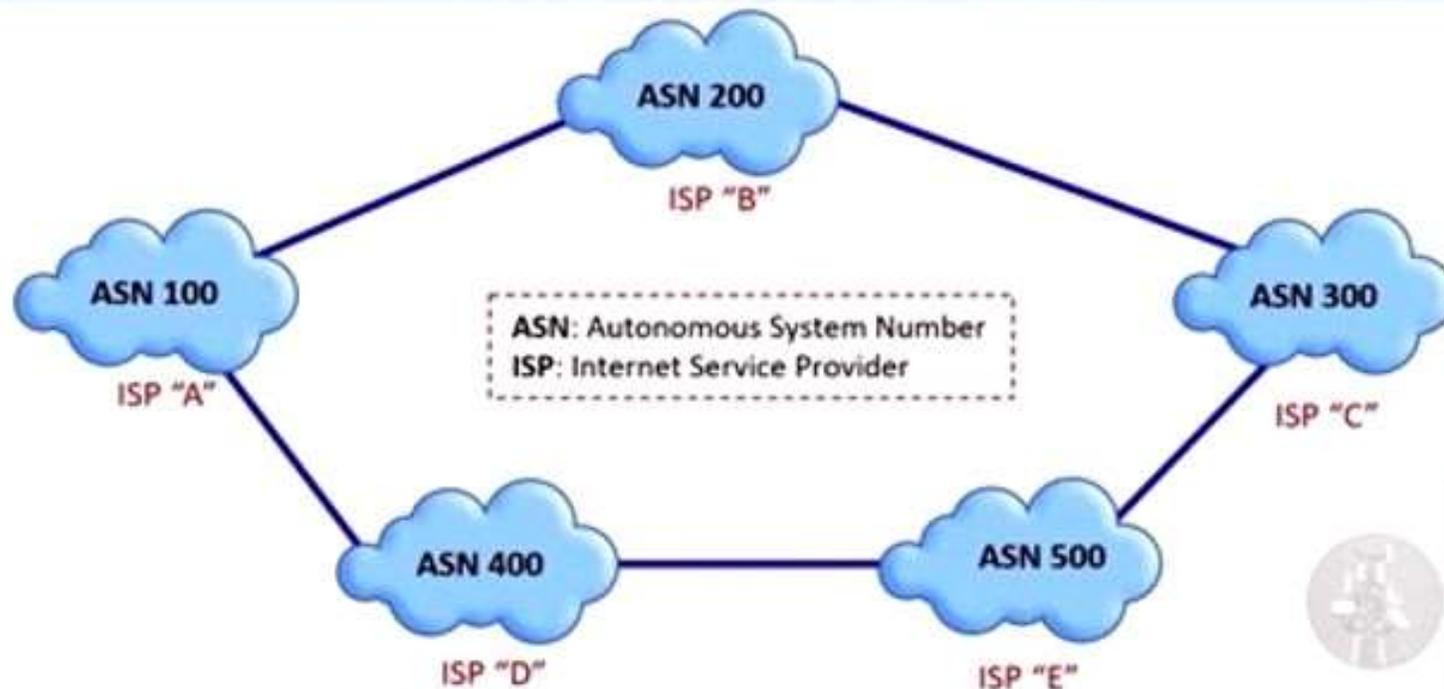
Sistemas autónomos

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Numeración de los AS

- **Cada AS** se identifica mediante su **número de sistema autónomo (ASN)**, que es único globalmente
- **Los números de AS**, como las direcciones IP, son asignados por lo registros regionales de ICANN.
- **A menudo**, los routers de un ISP y los enlaces que los interconectan constituyen un único AS.
- **Los Data Center** de grandes empresas constituyen un AS, como por ejemplo, Facebook cuyo ASN es 32934.

En el gráfico, para ir de ASN 100 al ASN 300, hay dos caminos posibles: Pasar por el ASN 200 o por los ASN 400 y 500



Por ejemplo, el ASN de **Facebook** es: **32934**

Los **ASN** son asignados por las **RIR** (Registros Regionales de Internet) a los ISP y a grandes empresas que cuentan con Centros de Datos (como **Facebook** o Cloudfare): En el caso de América Latina, el RIR es **LACNIC**, mientras que para USA y Canadá es **ARIN**.

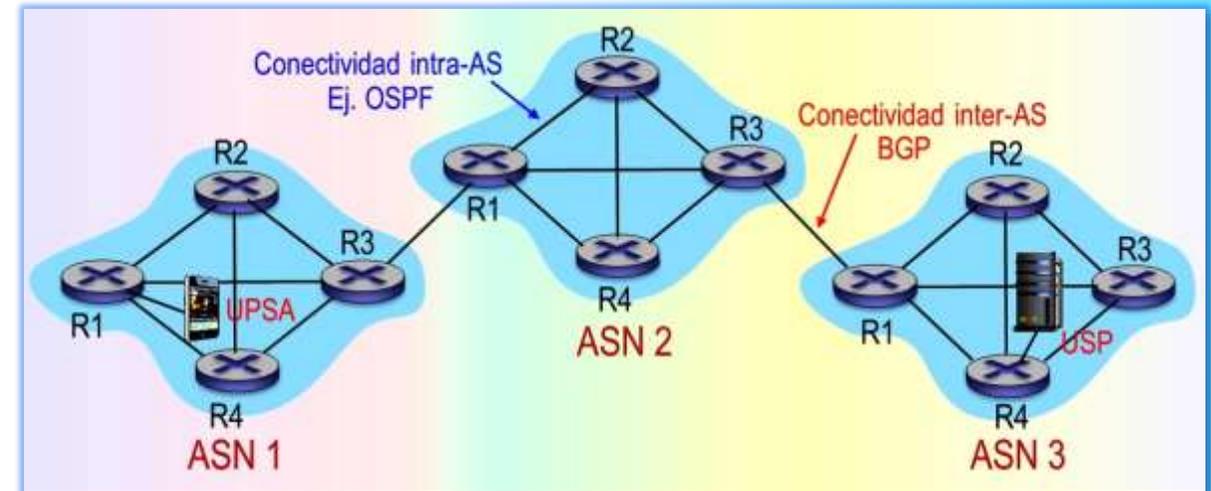
6. EL PROTOCOLO DE ROUTING BGP

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Routing entre los ISP

(Kurose, 2017)

- **OSPF** es un ejemplo de protocolo de routing dentro de un AS. Cuando se enruta un paquete entre un origen y un destino que se encuentran en un mismo sistema autónomo, la ruta que el paquete sigue está completamente determinada por el protocolo de routing dentro del AS.
- **Sin embargo**, para enrutar un paquete entre múltiples AS (por ejemplo, desde un smartphone en la **UPSA** hasta un servidor situado en un Data Center en la Universidad de San Pablo, **USP**, se necesita un **protocolo de routing entre AS**.
- **Puesto que** un protocolo de routing entre AS requiere la coordinación de múltiples AS, los cuales para comunicarse deben ejecutar el mismo protocolo de routing entre AS, denominado de **Puerta de Enlace de Borde (BGP)**.
- **Se podría sostener** que BGP es el más importante de todos los protocolos de Internet (junto con el protocolo IP) ya que es el que une a los miles de ISP existentes en Internet.
- **BGP es el protocolo** que hace posible la conexión a Internet. Si un ISP elimina sus rutas BGP, simplemente se “desconecta de Internet”. Es un protocolo descentralizado y sincrónico, en la línea del routing por vector de distancia.



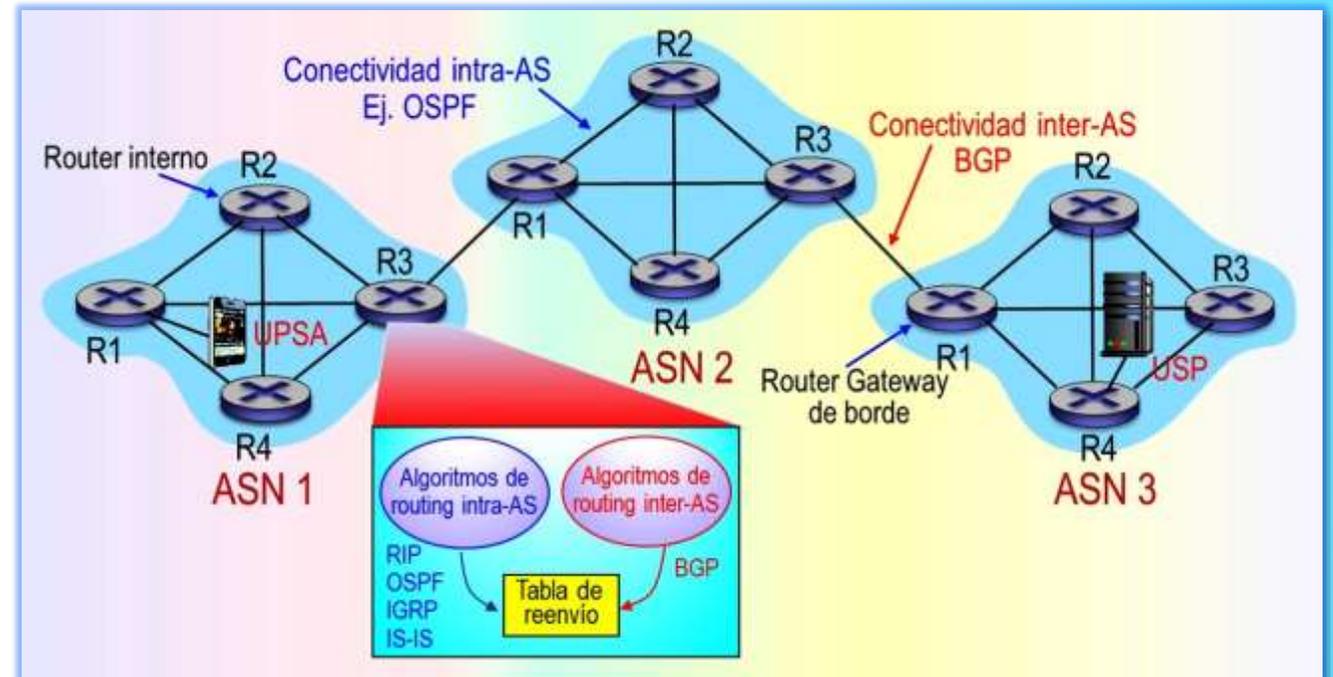
El protocolo de routing BGP

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

El papel de BGP

(Kurose, 2017)

- **Para comprender** la responsabilidad de BGP, piense en un AS y en un router cualquiera dentro de ese AS. Recuerde que todo router dispone de una tabla de reenvío, que juega un papel central en el proceso de reenviar los paquetes entrantes hasta los enlaces de salida del router.
- **Para los destinos** que se encuentran dentro del mismo AS, las entradas de la tabla de reenvío del router están determinadas por el protocolo de routing del AS, que puede ser RIP, OSPF, IGRP o IS-IS.
- **¿Pero qué ocurre** con los destinos que se encuentran fuera del AS? Es precisamente aquí donde BGP viene al rescate.
- **En BGP** los paquetes no se enrutan hacia una dirección de destino específica si no hacia prefijos CIDR, representando cada prefijo a una subred o a una colección de subredes. En el mundo de BGP, un destino puede tener la forma 138.16.68.0/22, que en este ejemplo incluirá 1.024 direcciones IP.
- **Por tanto**, la tabla de reenvío de un router dispondrá de entradas de la forma (x, I) donde x , es un prefijo (como por ejemplo 138.16.68.0/22) e I es el número de interfaz de una de las interfaces del router.



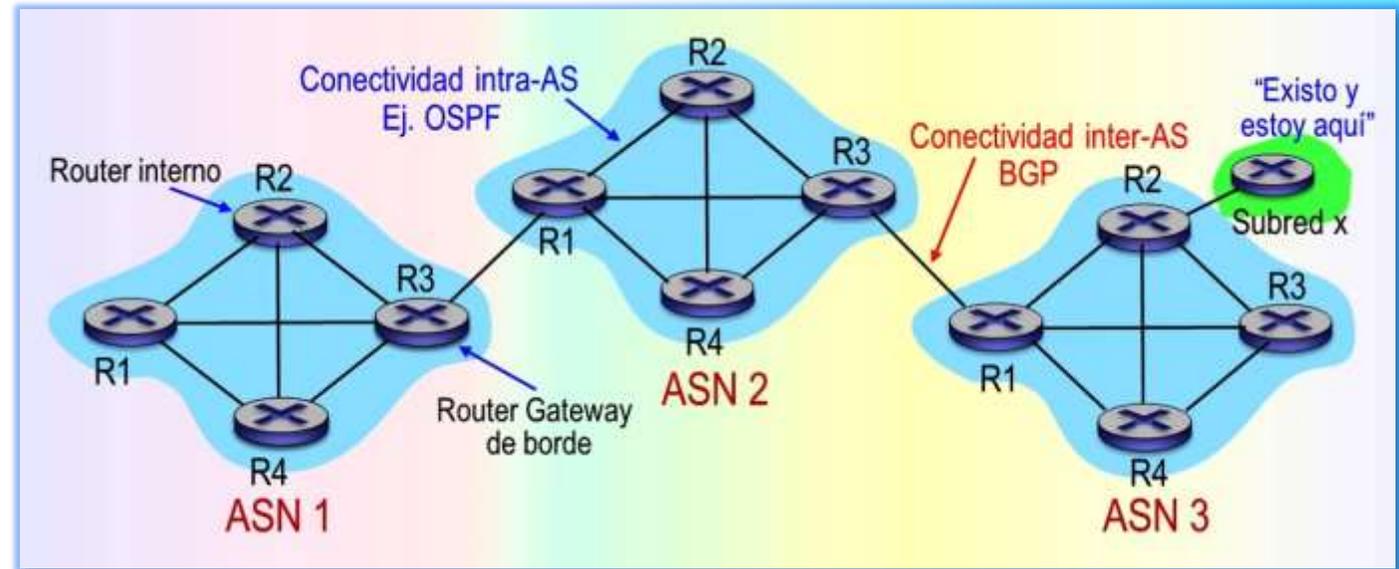
El protocolo de routing BGP

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Mecanismos proporcionados por BGP

(Kurose, 2017)

- **Como protocolo** de routing entre AS, BGP proporciona a cada routers mecanismos para:
- **►1. Obtener de los AS** vecinos información acerca de la alcanzabilidad de los **prefijos de las subredes**. En particular BGP permite a cada subred anunciar su existencia al resto de Internet.
 - **✉ Una subred** vocifera **“Existo y estoy aquí”** y BGP garantiza que todos los routers de Internet sepan sobre ella. Si no fuera BGP, las subredes estarían aisladas, resultando desconocidas e inalcanzables para el resto de Internet.
- **►2. Determinar las mejores rutas** hacia los distintos prefijos. Un router puede llegar a conocer dos o más rutas hacia un prefijo específico. Para determinar la mejor ruta, el router ejecutará localmente un procedimiento de selección de rutas de BGP, utilizando la información de alcanzabilidad de prefijos que ha obtenido de los router vecinos.
 - **✉ La mejor ruta** se determinará con base tanto en las políticas existentes, como en la información de la alcanzabilidad.



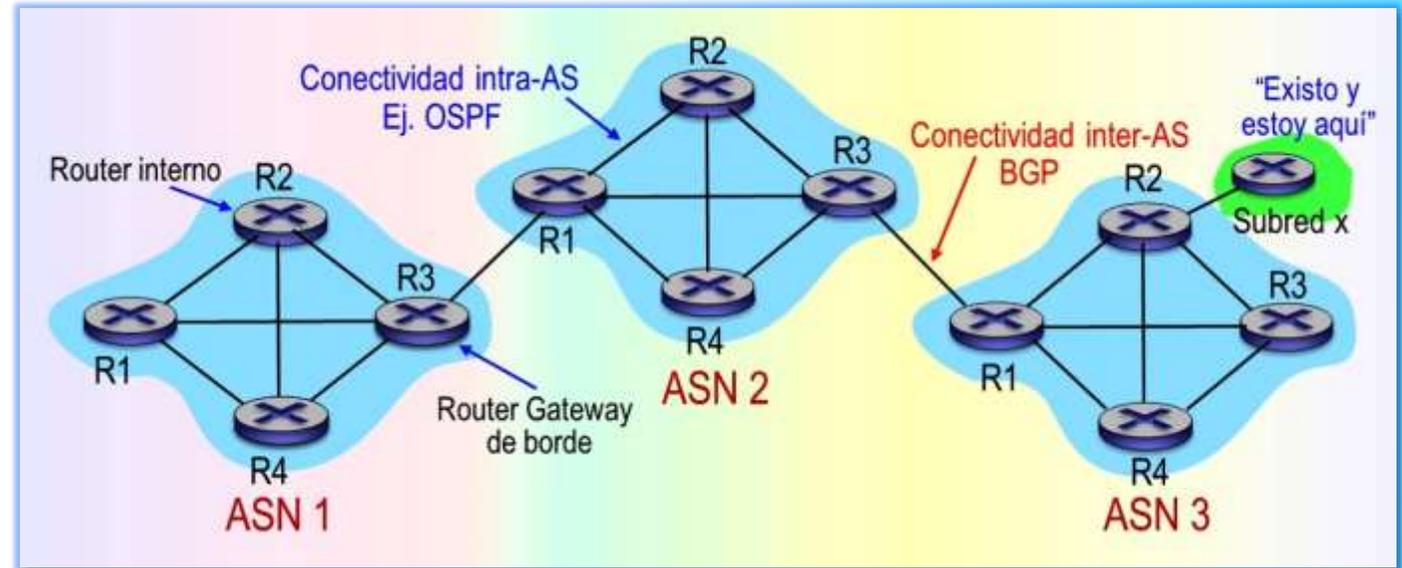
El protocolo de routing BGP

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Anuncio de información de rutas BGP

(Kurose, 2017)

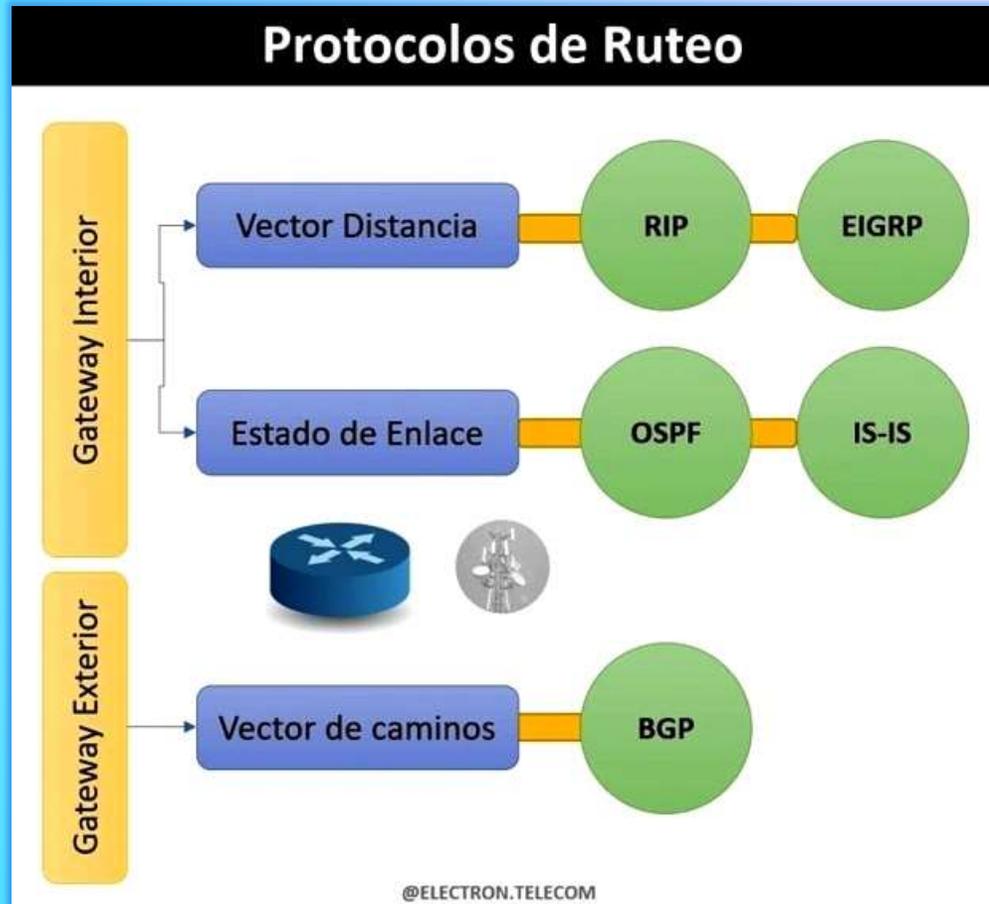
- ▶ **Ejemplo 3.** Considere la red mostrada en la figura. Esta sencilla red tiene tres AS: ASN 1, ASN 2 y ASN 3. La ASN 3 incluye una subred con **prefijo x**.
- ▶ **En un AS determinado**, cada router puede ser un router gateway o un router interno. Un router gateway es aquel que está situado en la frontera de un AS y se conecta directamente a uno o más router de otros AS. Un router interno solo está conectado a hosts y routers pertenecientes a su propio AS. En ASN 1, por ejemplo, el router R3 es un gateway; los routers R1, R2 y R4 son routers internos.
- ▶ **¿Cómo se anuncia** la información de alcanzabilidad del **prefijo x** a todos los routers mostrados en la figura?. A alto nivel, esta tarea resulta sencilla.
 - ▶ **En primer lugar**, ASN 3 envía un mensaje BGP a ASN 2 informándole de que **x existe** y de que se encuentra en ASN 3. Este mensaje se puede llamar "ASN3_x".
 - ▶ **A continuación**, ASN 2 envía un mensaje BGP a ASN 1, informándole de que **x existe** y de que se puede llegar a **x** pasando primero por ASN 2 y luego yendo a ASN 3. Este mensaje se puede llamar "ASN2 ASN3_x". De esta forma, los distintos AS no solo aprenderán que **x existe**, sino también una ruta de AS que conduce hasta **x**.



El protocolo de routing BGP

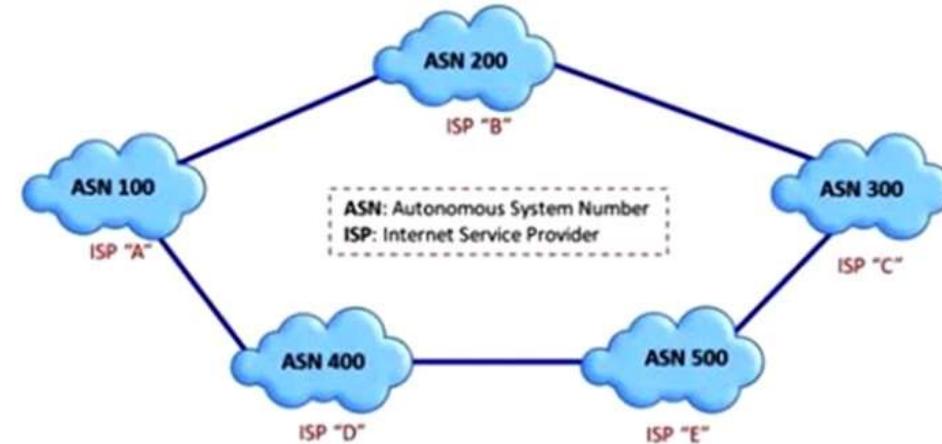
PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Resumen del protocolo BGP



Border Gateway Protocol

Es el protocolo que hace posible la conexión a Internet. Si un ISP, elimina sus rutas BGP, simplemente se “desconecta de Internet”.



@ELECTRON.TELECOM

Por ejemplo, el ASN de Facebook es: 32934

Puerto → TCP 179

Algoritmo → Vector Ruta

Distancia Administrativa BGP Externo → 20

Distancia Administrativa BGP Interno → 200



**¿Por qué cayó
Facebook?**

CAÍDA DE FACEBOOK

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

¿Por qué cayó Facebook?

- **Por una mala configuración** de los routers troncales, las **rutas BGP del ASN 32934** (Facebook) se retiraron de Internet. Por más de 6 horas no se tuvo acceso a Facebook, WhatsApp e Instagram.
- **Esto sucedió** el 4 de octubre de 2021.

Caída de Facebook, WhatsApp e Instagram

Alrededor de las 15:40 UTC, se detectó un pico en la actualización de rutas BGP de Facebook. La gráfica muestra lo que detectó CLOUDFLARE, pero sin duda esto pasó en todos los ISP y CDN del mundo.



ASN 32934
Facebook

CLOUDFLARE identificó que los picos eran por el **retiro de las rutas BGP**: Lo cual dejó a Facebook y demás servicios, fuera de **INTERNET** (incluido sus servidores DNS).

El *traceroute* no podía alcanzar al servidor de Facebook:

```
C:\Users\Un>tracert facebook.com
Traza a la dirección facebook.com [69.171.250.35]
sobre un máximo de 30 saltos:

  1  1 ms    <1 ms   <1 ms   192.168.0.1
  2  *        *        *        Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
  3  12 ms   11 ms   9 ms    10.150. .65
  4  13 ms   9 ms    14 ms   10.95. .46
  5  24 ms   12 ms   21 ms   157.240. .64
  6  10 ms   9 ms    8 ms    129.134.53.214
  7  71 ms   72 ms   72 ms   129.134.52.118
  8  *        *        *        Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
  9  *        *        *        Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
 10  *        *        *        Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
```

Elaborado con información de: <https://blog.cloudflare.com/october-2021-facebook-outage/>

@ELECTRON.TELECOM

¿Fue un ataque o alguien de FB manipuló BGP?

CAIDAS DE INTERNET POR CAUSA DE BGP

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Caídas de Internet

- En las que **BGP** estuvo involucrado.
- **BGP** es el protocolo que hace posible la conexión a Internet.

Caídas de INTERNET...

2004

El operador turco **TNet**, por error, anunció mal las **rutas BGP**, indicando que eran la mejor ruta para llegar a Internet. Alrededor de un día no se tuvo acceso a Internet

2008

En Pakistán un ISP bloqueó YouTube anunciando una **ruta BGP**: En todo el mundo, no se pudo acceder a YouTube por muchas horas.

2011

El presidente de Egipto, Hosni Mubarak ordenó a los ISP que corten los enlaces internacionales a Internet. Los routers dejaron de anunciar alrededor de **3500 rutas BGP**.

2018

Por medio de un "**BGP leak**" un atacante robó alrededor de 152 mil criptomonedas. Se atacó el CDN de Amazon.

2019

El ASN de un pequeño ISP de Pensilvania (AS33154), se convirtió en la **ruta BGP** preferida para llegar a Verizon (operador por el que circula una gran parte del tráfico de Internet). Como resultado, la conexión a muchos sitios era lenta o simplemente no se establecía.

2021

Debido a una mala configuración de los Routers troncales, las **rutas BGP del ASN 32934** (Facebook) se retiraron de Internet. Por más de 6 horas no se tuvo acceso a Facebook, WhatsApp e Instagram.

Elaborado con información de: El País, Cloudflare, CNET y Facebook.

...en los que **BGP** estuvo involucrado

@ELECTRON.TELECOM

Resumen y preguntas de repaso

(Kurose, 2017)

- **Resumen.** En esta presentación, se ha visto que el plano de control es la lógica de red que controla no solo como se reenvía un datagrama entre routers, a lo largo de una ruta extremo a extremo que va desde el host de origen hasta el host de destino, sino también cómo se configuran y gestionan los componentes y servicios de la capa de red. Se han estudiado también dos algoritmos fundamentales de routing para calcular las rutas de menor costo en un grafo, el routing por estado de los enlaces, y el routing de vectores de distancia.
- ▶ **P1. Indique** las similitudes y diferencias entre los algoritmos de routing de estado de enlace y por vector distancia.
- ▶ **P2. ¿Es necesario** que todos los sistemas autónomos utilicen el mismo algoritmo de routing interno? ¿Por qué o por qué no?
- ▶ **P3. ¿Por qué** se utilizan diferentes protocolos de routing internos de un sistema autónomo y entre sistemas autónomos en Internet?
- ▶ **P4. Verdadero o falso:** cuando un router OSPF envía su información de estado de los enlaces, solo la envía a los vecinos directamente conectados. Explique su respuesta.
- ▶ **P5. ¿A qué** se llama área en un sistema autónomo OSPF? ¿Por qué se introdujo el concepto de área?
- ▶ **P6. Defina** los siguientes términos e indique en que se diferencian: subred, prefijo y ruta BGP.
- ▶ **P7. Verdadero o falso:** cuando un router BGP recibe una ruta anunciada por su vecino, debe añadir su propia identidad a la ruta recibida y luego enviar esa nueva ruta a todos sus vecinos. Explique su respuesta.

Referencias bibliográficas

PROTOCOLOS DE ROUTING IP

Referencias bibliográficas

- CISCO (2015). *CCNA Routing and Switching. Introduction to Networks*. CISCO.
- CISCO (2016). *Introducción a las redes*. Madrid: Pearson Education, S.A.
- Forouzan, B. A. (2020). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- Huawei Technologies (2020). *Basics of data communication networks*. Huawei.
- Kurose, J. Keith, R. (2017). *Redes de computadoras: un enfoque descendente*. Madrid: Pearson Education, S.A.

FIN

Tema 3 de:
ROUTING IP

Edison Coimbra G.
26