

# Enrutamiento dinámico

## y funcionamiento de la tabla de enrutamiento



Antes de Imprimir este documento  
considere si es necesario  
*Ayudemos al Ambiente !!!!*

Universidad San Carlos de Guatemala  
—— **DANILO ESCOBAR** ——

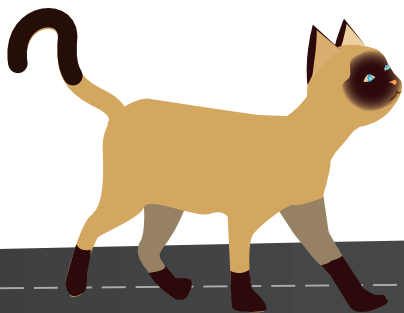
# Enrutamiento Dinámico

## ► Enrutamiento Dinámico

El enrutamiento estático es sencillo pero no muy escalable ni resiliente, razón por la cual en redes más grandes es obligatorio el uso del enrutamiento dinámico a través de algún protocolo de enrutamiento.

Los protocolos de enrutamiento son capaces de descubrir y monitorear todas las rutas existentes en la topología, eligiendo de entre ellas la mejor para luego incluirla en la tabla de enrutamiento automáticamente.

Para poder elegir la mejor ruta dentro de varias posibles se les es asignado, a cada una de ellas, un valor que indica la conveniencia/inconveniencia de ser utilizada, siendo este calculado a partir de criterios específicos a cada protocolo de enrutamiento y recibiendo el nombre de métrica.



# Enrutamiento Dinámico

## ► Clasificación de los protocolos de enrutamiento

Los protocolos de enrutamiento pueden clasificarse en dos categorías: Vector distancia y estado de enlace. Siendo algunas de sus características enlistadas a continuación.

### Protocolos vector distancia (RIP, IGRP)

- Envían toda su tabla de enrutamiento a los *routers* vecinos periódicamente.
- Métrica sencilla calculada a partir del número de saltos entre nodos.
- Fáciles de configurar.
- Presentan menos opciones.
- Auto sumarización en la frontera discontinua.

### Protocolos de estado de enlace (OSPF, IS-IS)

- Envían la información de sus propias interfaces hacia todos los demás *routers* presentes en la topología.
- Métrica compleja calculada a partir del ancho de banda.
- Difíciles de configurar.
- Presentan muchas más opciones

### Protocolo vector distancia avanzado o mejorado (EIGRP)

- Envían actualizaciones parciales de su tabla de enrutamiento conforme estas son requeridas.
- Métrica compleja, calculada por defecto a partir del ancho de banda y el retraso introducido por las interfaces, con otros parámetros opcionales.
- Fácil de configurar.
- Presenta muchas opciones.
- Originalmente un protocolo propietario de Cisco, hoy es un estándar abierto. No obstante, no ha sido implementado por ningún otro fabricante.
- Auto sumarización en la frontera discontinua

La elección de un protocolo de enrutamiento dependerá del tamaño de la red, requerimientos y políticas organizacionales, siendo posible la utilización de varios de estos protocolos dentro de una misma institución o empresa.

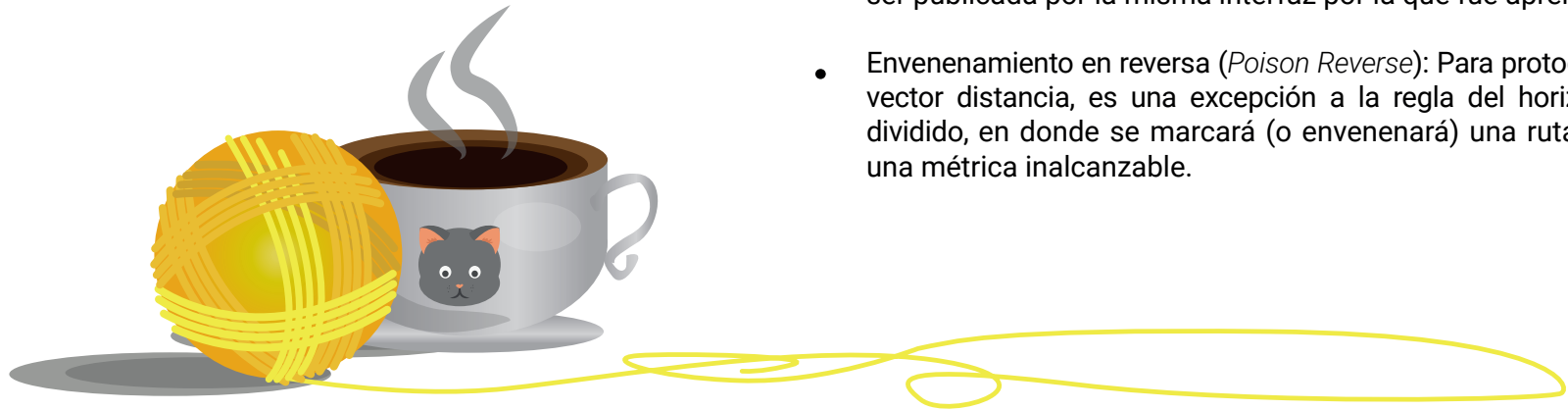
# Enrutamiento Dinámico

## ► Bucles de enrutamiento (*Routing loops*)

Al aumentar el tamaño y la complejidad de la red aumenta también la probabilidad de la aparición de ciertos problemas dentro de la misma, uno de los cuales es la ocurrencia de los llamados bucles de enrutamiento, donde los paquetes se encuentran atrapados dentro de cierta ruta que atraviesan una y otra vez incapaces de llegar a su destino.

Para paliar este problema los protocolos implementan ciertos mecanismos, siendo algunos de los mismos específicos a una categoría y de los cuales se presentan los siguientes ejemplos:

- *Time to Live (TTL)*: Es un campo presente en el paquete IP, con un contador o número que se decrementa en cada salto para asegurarnos que un paquete no se quede estancado en un bucle infinito.
- *Hold Down Timers*: Tiempo de espera que los *routers* utilizan antes de actualizar sus rutas.
- Horizonte dividido (*Split Horizon*): Para protocolos vector distancia, es una regla que establece que una ruta no puede ser publicada por la misma interfaz por la que fue aprendida.
- Envenenamiento en reversa (*Poison Reverse*): Para protocolos vector distancia, es una excepción a la regla del horizonte dividido, en donde se marcará (o envenenará) una ruta con una métrica inalcanzable.



# Enrutamiento Dinámico

## ► Comportamiento *Classful* y *Classless*

La tabla de enrutamiento así como algunos de los protocolos dinámicos presentados anteriormente pueden comportarse en una de las siguientes maneras:

- *Classful*: El comportamiento original de todos los dispositivos, donde se suponía que los límites impuestos entre las clases de direcciones IP (A, B, C, D y E) siempre serían respetados, por lo que las rutas (almacenadas o transmitidas) no incluían la información proporcionada por la máscara de subred ya que no era necesaria en ese tiempo para poder identificar cómo estaban divididas dichas direcciones.
- *Classless*: La manera en cómo se comportan los dispositivos actualmente, en donde toda ruta es almacenada o transmitida junto con su máscara de subred, lo permite el uso de una máscara de longitud variable (VLSM) para un uso más eficiente de las direcciones existentes.

Este es el comportamiento activo por defecto en los sistemas operativos de los routers Cisco anteriores a la versión 12, siendo utilizado por algunos de los primeros protocolos de enrutamiento como RIPv1 e IGRP y que presentaba algunos problemas que luego serían heredados a sus sucesores RIPv2 y EIGRP por razones de compatibilidad entre los mismos, por lo que su estudio todavía es necesario.

CLASSFUL



CLASSLESS





# Enrutamiento Dinámico

## ► Routing Information Protocol (RIP)

Creado en 1988 es uno de los protocolos de enrutamiento más antiguos, perteneciente a la categoría vector distancia es un protocolo que reside en la capa de aplicación del modelo OSI empleando el puerto UDP 520 y utilizando el algoritmo *Bellman-Ford* para hallar la ruta más corta entre dos puntos.

Emplea y es restringido por una métrica sencilla basada en el número de saltos entre nodos, siendo una ruta con dieciséis saltos considerada inalcanzable o con una métrica infinita (otro mecanismo para prevenir bucles de enrutamiento), por lo que no puede ser utilizado en redes demasiado grandes.

Existen dos versiones de RIP:

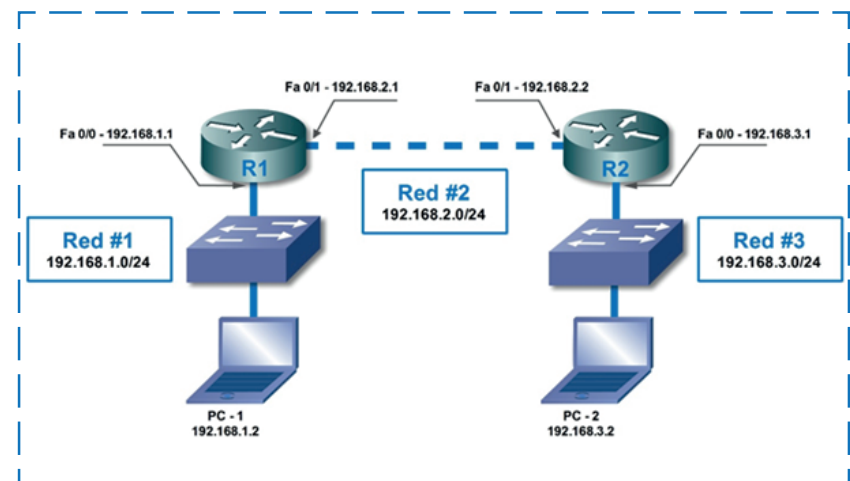
### Versión 1 (V1)

- No soporta autenticación.
- Comportamiento *Classful*.
- Transmite sus actualizaciones como un *broadcast*.

### Versión 2 (V2)

- Soporta autenticación.
- Comportamiento *Classless*, por lo que puede utilizar VLSM.
- Transmite sus actualizaciones utilizando la dirección de *multicast* 224.0.0.9.

En orden de presentar un ejemplo de la implementación de este protocolo, se utilizará nuevamente la topología base introducida en la sección anterior y que se reproduce nuevamente a continuación por conveniencia.



Topología base para los ejemplos de las secciones de enrutamiento.

# Enrutamiento Dinámico

La funcionalidad de un protocolo de enrutamiento puede ser habilitada en el modo de configuración global, siendo estos precedidos por la palabra clave *router*, por lo que se puede utilizar la ayuda para mostrar los protocolos disponibles como se muestra a continuación.

```
R1(config)#router ?
```

```
bgp   Border Gateway Protocol (BGP)
eigrp  Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)
ospf   Open Shortest Path First (OSPF)
rip    Routing Information Protocol (RIP)
```

A continuación se habilitará RIP, utilizando la versión 2 del protocolo y desactivando la auto-sumarización con el comando *no auto-summary*

```
R1(config)# router rip
R1(config-router)# version 2
R1(config-router)# no auto-summary
```

Después de activar un protocolo de enrutamiento debemos configurar las redes que serán anunciadas o publicadas hacia los demás dispositivos, las que en este caso, serán aquellas que son conocidas por el router al estar conectadas directamente.

Para cumplir con este propósito se utilizará nuevamente el comando *network*, mismo que fue presentado en una de las secciones anteriores (junto con el tema de DHCP para ser

exactos) y que como se recordará cumple dos funciones, la primera de ellas es indicar al *router* la red que formará parte de un proceso (En este caso RIP) y la segunda es seleccionar aquella interfaz del dispositivo con una dirección IP que pertenezca a dicha red, para hacer la conexión del proceso en cuestión con el mundo físico.

De modo que para anunciar la red #1 podemos ingresar la siguiente instrucción.

```
R1(config-router)# network 192.168.1.0
```

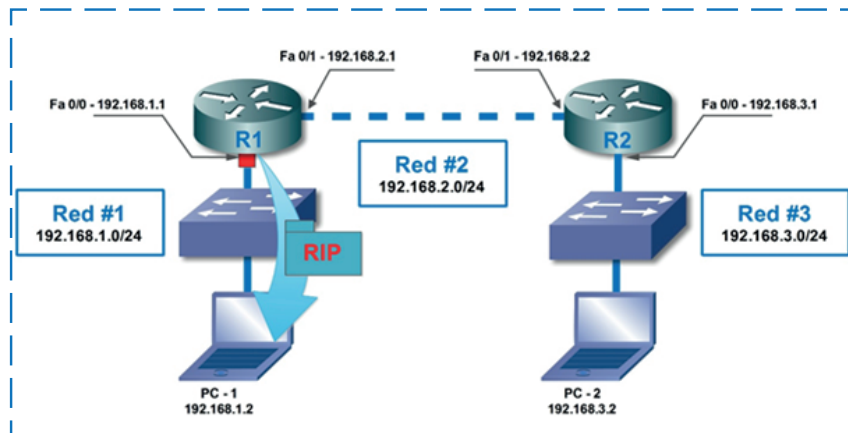
El comando anterior, le indica a RIP que agregue la red 192.168.1.0/24 a sus publicaciones y activa la interfaz *Fastethernet 0/0* para empezar a enviar y recibir actualizaciones de este protocolo.

Adviértase en el caso anterior que no es posible añadir una máscara de subred a la nueva publicación, esto es debido a la antigüedad de RIP por lo que en la versión 2 de este protocolo esta información será tomada de la interfaz física correspondiente (Ej.: *Fastethernet 0/0*)



# Enrutamiento Dinámico

Al completar la instrucción anterior, R1 enviará y publicará actualizaciones de RIP a través de la interfaz *Fastethernet* 0/0, como se muestra a continuación.



**R1 anuncia y recibe publicaciones de RIP a través de la interfaz Fa 0/0.**

Es evidente, que a pesar de estar anunciando la red deseada, las publicaciones no se envían (ni tampoco reciben) entre los dos *routers*.

Para lograr que R1 envíe sus publicaciones a R2 será necesario incluir dentro del proceso RIP (utilizando el comando *network*) la interfaz conectada entre ambos dispositivos, en este caso *Fastethernet* 0/1, como se muestra.

```
R1(config-router)# network 192.168.2.0
```

Nótese que en esta situación no se pretende utilizar RIP para anunciar la red 192.168.2.0/24 a R2, ya que ambos *routers* conocen esta red al estar directamente conectados, sino habilitar la interfaz que pertenece a esa red (ya que es la que interconecta ambos dispositivos) para que reciba y publique las actualizaciones de RIP.

Para lograr conectividad entre ambos ordenadores es necesario configurar R2 para que este pueda intercambiar información (o rutas) con R1, como se exhibe a continuación.

```
R2(config)# router rip
R2(config-router)# version 2
R2(config-router)# no auto-summary
R2(config-router)# network 192.168.2.0
R2(config-router)# network 192.168.3.0
```

Cuando todos los *routers* posean en su tabla de enrutamiento la información de todas las redes que conforman la topología se podrá decir que la red ha convergido.

Como última consideración de esta sección, es necesario resolver el problema de seguridad que proviene del hecho de que los *routers* están enviando y recibiendo actualizaciones por las interfaces conectadas hacia las redes de los usuarios, en donde un posible atacante podría incorporar o emular a través de *software* un nuevo dispositivo con el fin de conocer la estructura de la topología de red o evadir medidas de seguridad.

# Enrutamiento Dinámico

Dada la imposibilidad de desactivar estas interfaces retirando el comando *network* (Ej.: *no network 192.168.1.0*) ya que las redes de los usuarios no serían publicadas, podemos reducir o eliminar esta vulnerabilidad utilizando interfaces pasivas, las cuales son interfaces físicas que no envían ni reciben publicaciones a pesar de pertenecer a una red que está siendo anunciada y que pueden configurarse dentro del protocolo de enrutamiento de la siguiente manera.

```
R1(config)#router rip
R1(config-router)#passive-interface fastethernet 0/0
```

```
R2(config)#router rip
R2(config-router)#passive-interface fastethernet 0/0
```

Es importante mencionar que en el caso específico de RIP las interfaces pasivas dejan de enviar pero todavía son capaces de aceptar nuevas publicaciones.

Para visualizar los protocolos de enrutamiento activos dentro de un dispositivo, junto con las redes publicadas, interfaces pasivas y otros parámetros específicos a cada protocolo, podemos ejecutar el comando *show ip protocols* como se muestra a continuación.

```
R1# show ip protocols
```

Routing Protocol is "rip"

Sending updates every 30 seconds, next due in 23 seconds  
Invalid after 180 seconds, hold down 180, flushed after 240  
Outgoing update filter list for all interfaces is not set  
Incoming update filter list for all interfaces is not set

Redistributing: rip  
Default version control: send version 2, receive 2  
Interface Send Recv Triggered RIP Key-chain  
FastEthernet0/1 2 2

Automatic network summarization is not in effect  
Maximum path: 4

Routing for Networks:  
192.168.1.0  
192.168.2.0

Passive Interface(s):  
FastEthernet0/0

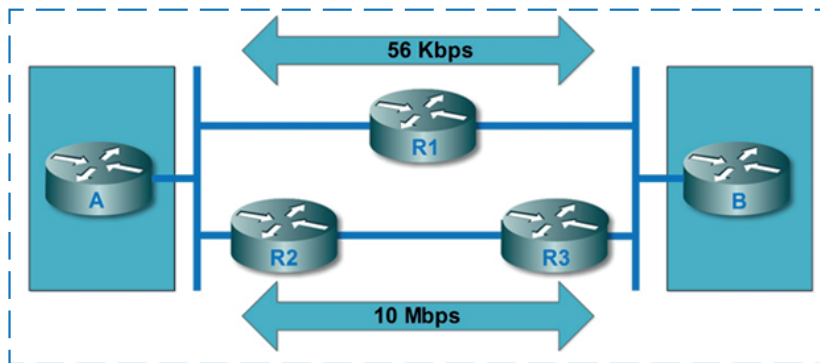
Routing Information Sources:  
Gateway Distance Last Update  
192.168.2.2 120 00:00:19  
Distance: (default is 120)

# Enrutamiento Dinámico

## ► Funcionamiento de la tabla de enrutamiento

En este punto ya se conoce que la función de la tabla de enrutamiento es almacenar las mejores rutas hacia todos los posibles destinos dentro de una red, sin embargo, todavía no se han considerado todos los criterios que son utilizados para seleccionar de entre varias rutas la mejor, para que esta pueda ser instalada dentro de esta tabla.

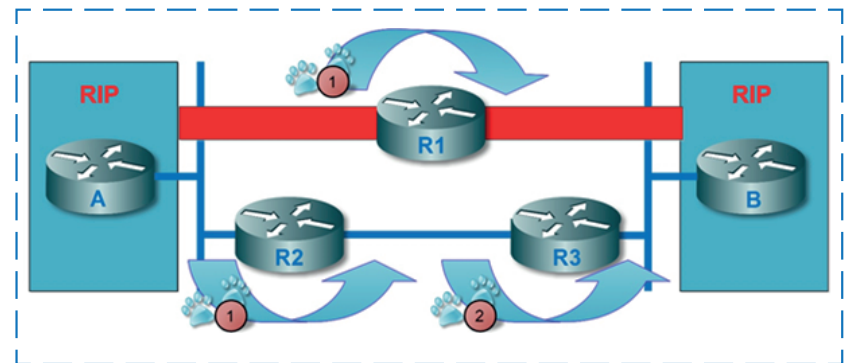
Para iniciar la discusión se presenta la siguiente topología donde todos los dispositivos son capaces de ejecutar uno o más protocolos de enrutamiento de manera simultánea y donde existen dos caminos o rutas para la comunicación entre los dispositivos A y B.



Topología con dos rutas entre A y B

En el caso de que se esté ejecutando un solo protocolo de enrutamiento en toda la topología la elección de la mejor ruta dependerá de la métrica (o medida) utilizada por el protocolo correspondiente, en el caso de RIP es el número de saltos mientras que en OSPF es el ancho de banda.

Por lo que en el ejemplo anterior, de utilizarse RIP se elegirá el camino a través de R1 a pesar de la gigantesca diferencia en ancho de banda con la ruta alternativa, ya que RIP utiliza como única medida de comparación el número de saltos. Mientras que al utilizar OSPF, un protocolo más moderno, se elegirá la ruta más rápida que atraviesa R2 y R3.



RIP prefiere la ruta con menor número de saltos.

# Enrutamiento Dinámico

Si dos o más protocolos de enrutamiento se encuentran ejecutándose al mismo tiempo dentro de un dispositivo cada uno de ellos presentará, acorde a su métrica, las mejores rutas entre un punto y otro, por lo que en primera instancia será necesario decidir el protocolo a utilizar, elección que se realiza a través de un parámetro que indica el grado de confiabilidad de los mismos y que recibe el nombre de distancia administrativa.

La distancia administrativa es un parámetro de carácter local dentro de cada uno de los dispositivos, entre más bajo es este parámetro más confiable se considera al protocolo, un listado con los valores más comunes (utilizados por Cisco) se presentan en la siguiente tabla.

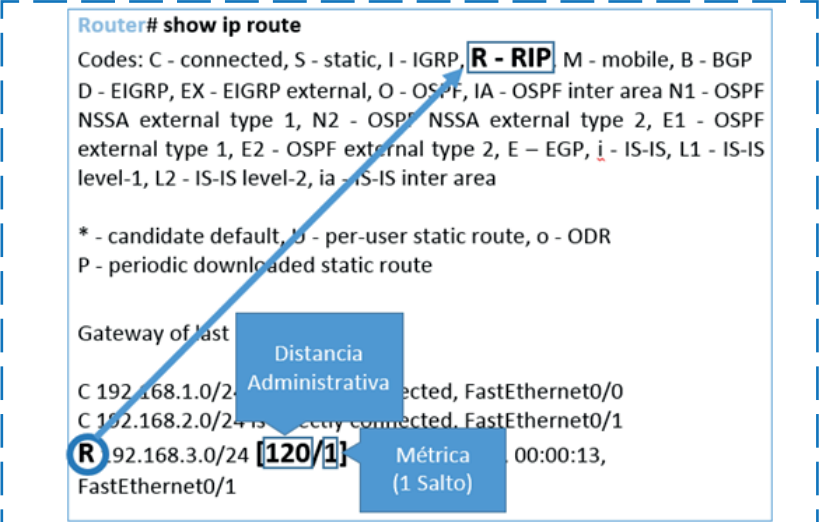
	Distancia Administrativa
RIP	120
OSPF	110
EIGRP	90
Estática	1
Directamente Conectada	0

Tabla con algunas de las distancias administrativas más comunes (Cisco).

Así pues, en un dispositivo ejecutando RIP y OSPF en donde ambos protocolos presenten diferentes alternativas para la conexión entre dos puntos se preferirán aquellas aprendidas por OSPF dado que tiene una menor distancia administrativa por lo que es más confiable.

Si en el mismo caso se incluyera una ruta estática, sería esta última la que se instalase en la tabla de enrutamiento al poseer una menor distancia administrativa que OSPF.

Tanto la distancia administrativa como la métrica son visibles en las rutas que se encuentran en la tabla de enrutamiento, como se muestra en la siguiente imagen.



```
Router# show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, 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, E - EGP, i - IS-IS, 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

C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
C 192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
R 192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.1.1, 00:00:13,
FastEthernet0/1
```

Tabla de enrutamiento de un router ejecutando RIP.

# Enrutamiento Dinámico

Otro factor tomado en cuenta en por la tabla de enrutamiento en la elección de la mejor ruta es la máscara de subred.

La información de la máscara de subred, también referida como la longitud del prefijo, acompaña a cada una de las rutas (en toda implementación moderna) y juega un rol muy importante en la toma de decisiones.

Si una ruta se presenta varias veces acompañada por distintas máscaras de subred, se considerará a cada una de sus versiones como un destino diferente y todas podrán coexistir al mismo tiempo en la tabla de enrutamiento.

Por ejemplo, es posible que se presente la situación donde se encuentren las siguientes rutas instaladas.

```
192.168.10.0/29 (a través de Fastethernet 0/0)
192.168.10.0/26 (a través de Fastethernet 0/1)
192.168.10.0/24 (a través de Fastethernet 0/2)
```

**Tres rutas presentes en una tabla de enrutamiento.**

Si bien las tres rutas se encuentran presentes, la tabla de enrutamiento siempre elegirá aquella de entre ellas que sea más específica. Entre más largo el prefijo (O entre más bits con un valor de uno se encuentren presentes en la máscara de subred) más específica la ruta. Por lo que los paquetes destinados a la dirección 192.168.10.1 serán enviados a través de la interfaz Fastethernet 0/0.

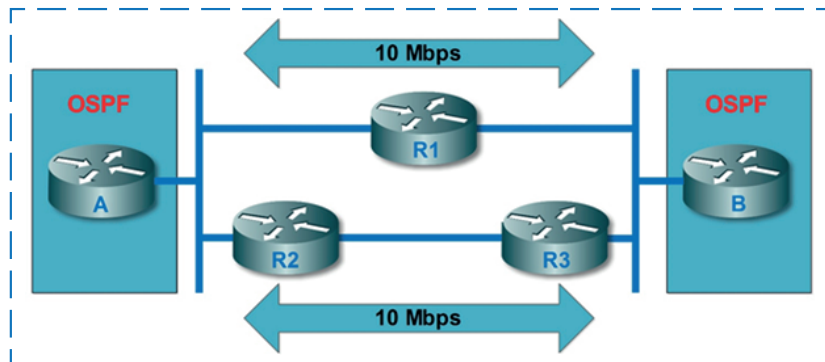
Finalmente, debe mencionarse que otra función del router es verificar para cada ruta que la dirección IP del siguiente salto (la que se utilizará para llegar a ese destino en particular) sea válida y pueda ser alcanzada, condición que debe cumplirse en cualquier momento dado para que una ruta pueda ser instalada y mantenida dentro de la tabla de enrutamiento.



# Enrutamiento Dinámico

## ► Balanceo de Cargas

Otra situación que puede presentarse es que el *router* encuentre dos o más rutas idénticas acorde a los criterios presentados en la sección anterior, como se muestra a continuación.



**Dos rutas aprendidas por el mismo protocolo con la misma métrica**

En ese caso, en lugar de escoger entre rutas idénticas, el *router* las instalará todas dentro de su tabla de enrutamiento provocando un fenómeno conocido como balanceo de cargas, en donde el tráfico será distribuido de manera equivalente entre todas las rutas, lo que recibe el nombre de balanceo simétrico.

El balanceo entre rutas desiguales o balanceo asimétrico solo es posible utilizando EIGRP.

### Router# show 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, \* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

```
O 192.168.1.0/24 [110/74] via 192.168.3.1, 00:00:38, Serial0/1
[110/74] via 192.168.2.1, 00:00:38, Serial0/0
```

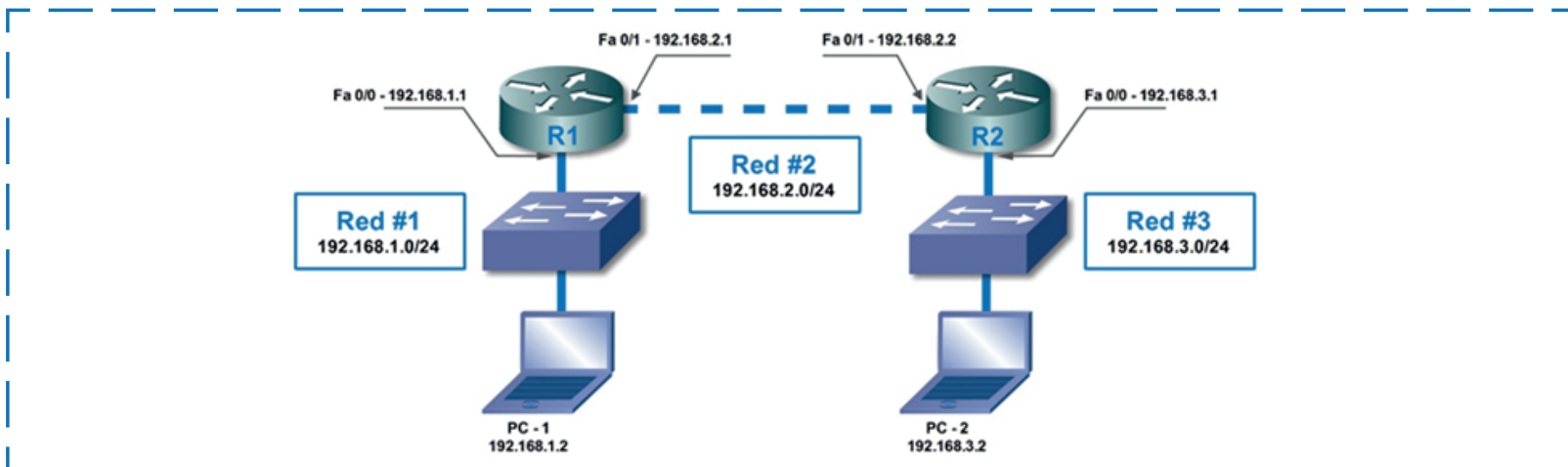
```
C 192.168.2.0/24 is directly connected, Serial0/0
```

```
C 192.168.3.0/24 is directly connected, Serial0/1
```

### Balanceo de Carga entre dos rutas en OSPF

# Enrutamiento Dinámico

## Resumen de la configuración RIP



### Router R1

```
R1# configure terminal
R1(config)# interface fastethernet 0/0
R1(config-if)# ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)# no shutdown
```

```
R1(config)# interface fastethernet 0/1
R1(config-if)# ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
R1(config-if)# no shutdown
```

```
R1(config)# router rip
R1(config-router)# network 192.168.1.0
R1(config-router)# network 192.168.2.0
R1(config-router)# passive-interface fastEthernet 0/0
```

### Router R2

```
R2# configure terminal
R2(config)# interface fastethernet 0/0
R2(config-if)# ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
R2(config-if)# no shutdown
```

```
R2(config)# interface fastethernet 0/1
R2(config-if)# ip address 192.168.2.2 255.255.255.0
R2(config-if)# no shutdown
```

```
R2(config)# router rip
R2(config-router)# network 192.168.3.0
R2(config-router)# network 192.168.2.0
R2(config-router)# passive-interface fastEthernet 0/0
```



## ***Diseño y edición:***

María Esther Pineda  
Carolina Villatoro

## ***Descargo de Responsabilidad***

*El autor y los colaboradores de este trabajo han hecho su mejor esfuerzo en la preparación del mismo para asegurar que su contenido sea lo más exacto posible, sin embargo, no se hacen responsables por el uso de la información en este documento así como de errores u omisiones que pudieran resultar en pérdida de cualquier tipo.*

*La información está proporcionada “como está” para ser utilizada bajo “su propia cuenta y riesgo”.*