

CAPÍTULO 2

ENRUTAMIENTO

DETERMINACIÓN DE RUTAS IP

Para que un dispositivo de capa tres pueda determinar la ruta hacia un destino debe tener conocimiento de cómo hacerlo. El aprendizaje de las rutas puede ser mediante enrutamiento estático o dinámico.

Rutas estáticas:

Aprendidas por el router a través del administrador, que establece dicha ruta manualmente, quien también debe actualizar cuando tenga lugar un cambio en la topología.

Rutas dinámicas:

Rutas aprendidas automáticamente por el router a través de la información enviada por otros routers, una vez que el administrador ha configurado un protocolo de enrutamiento que permite el aprendizaje dinámico de rutas.

Para poder enrutar paquetes de información un router debe conocer lo siguiente:

- **Dirección de destino:** dirección a donde han de ser enviados los paquetes
- **Fuentes de información:** fuente (otros routers) de donde el router aprende las rutas hasta los destinos especificados.

- **Descubrir las posibles rutas hacia el destino:** *rutas iniciales posibles hasta los destinos deseados.*
- **Seleccionar las mejores rutas:** *determinar cuál es la mejor ruta hasta el destino especificado.*
- **Mantener las tablas de enrutamiento actualizadas:** *mantener conocimiento actualizado de las rutas al destino.*

La información de enrutamiento que el router aprende desde sus fuentes se coloca en su propia tabla de enrutamiento. El router se vale de esta tabla para determinar los puertos de salida que debe utilizar para retransmitir un paquete hasta su destino. La tabla de enrutamiento es la fuente principal de información del router acerca de las redes. Si la red de destino está conectada directamente, el router ya sabrá el puerto que debe usar para reenviar paquetes. Si las redes de destino no están conectadas directamente, el router debe aprender y calcular la ruta más óptima a usar para reenviar paquetes a dichas redes. La tabla de enrutamiento se construye mediante uno de estos dos métodos o ambos:

- Manualmente, por el administrador de la red.
- A través de procesos dinámicos que se ejecutan en la red.

RUTAS ESTÁTICAS

Las rutas estáticas se definen administrativamente y establecen rutas específicas que han de seguir los paquetes para pasar de un puerto de origen hasta un puerto de destino. Se establece un control preciso del enrutamiento según los parámetros del administrador.

Las rutas estáticas por default especifican un gateway (puerta de enlace) de último recurso, a la que el router debe enviar un paquete destinado a una red que no aparece en su tabla de enrutamiento, es decir que desconoce.

Las rutas estáticas se utilizan habitualmente en enrutamientos desde una red hasta una red de conexión única, ya que no existe más que una ruta de entrada y salida en una red de conexión única, evitando de este modo la sobrecarga de tráfico que genera un protocolo de enrutamiento. La ruta estática se configura para conseguir conectividad con un enlace de datos que no esté directamente conectado al router. Para conectividad de extremo a extremo, es necesario configurar la ruta en ambas direcciones. Las rutas estáticas permiten la construcción manual de la tabla de enrutamiento.

El comando **ip route** configura una ruta estática, los parámetros del comando definen la ruta estática.

Las entradas creadas en la tabla usando este procedimiento permanecerán en dicha tabla mientras la ruta siga activa. Con la opción **permanent**, la ruta seguirá en la tabla aunque la ruta en cuestión haya dejado de estar activa.

La sintaxis de configuración de una ruta estática es la siguiente:

```
Router(config)#ip route [red] [máscara] [dirección  
ip/interfaz] [distancia] [permanent]
```

red: es la red o subred de destino.

máscara: es la máscara de subred.

dirección: es la dirección IP del router del próximo salto.

interfaz: es el nombre de la interfaz que debe usarse para llegar a la red de destino.

distancia: es un parámetro opcional, que define la distancia administrativa.

permanent: un parámetro opcional que especifica que la ruta no debe ser eliminada, aunque la interfaz deje de estar activa.



RECUERDE:

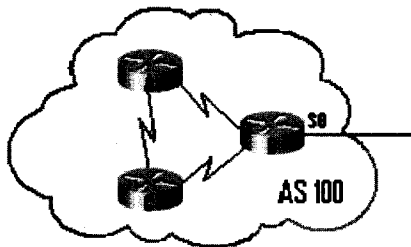
Es necesario configurar una ruta estática en sentido inverso para conseguir una comunicación en ambas direcciones.

Rutas estáticas por defecto

Una ruta estática por defecto (default), predeterminada o de último recurso es un tipo especial de ruta estática que se utiliza cuando no se conoce una ruta hasta un destino determinado, o cuando no es posible almacenar en la tabla de enrutamiento la información relativa a todas las rutas posibles.

La sintaxis de configuración de una ruta estática por defecto es la siguiente:

```
Router(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 [dirección  
ip/interfaz] [distancia]
```



```
Router_B(config)# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 Serial 0
```

El gráfico ilustra un ejemplo de utilización de una ruta estática por default, el router **B** tiene configurada la ruta por defecto hacia el exterior como única salida/entrada del sistema autónomo 100, los demás routers aprenderán ese camino gracias a la redistribución que el protocolo hará dentro del sistema autónomo.

PROTOCOLOS

Los protocolos describen el conjunto de normas y convenciones que rigen la forma en que los dispositivos de una red intercambian información.

Estos son algunos de los protocolos más usados que operan en la capa de Internet del modelo TCP/IP:

- **IP** proporciona un enrutamiento de paquetes no orientado a conexión de máximo esfuerzo. IP no se ve afectado por el contenido de los paquetes, sino que busca una ruta de hacia el destino.
- El Protocolo de mensajes de control en Internet (**ICMP**) suministra capacidades de control y envío de mensajes. Herramientas tales como **PING** y **tracert** utilizan ICMP para poder funcionar, enviando un paquete a la dirección especificada y esperando una determinada respuesta.
- El Protocolo de resolución de direcciones (**ARP**) determina la dirección de la capa de enlace de datos, la dirección MAC, para las direcciones IP conocidas.
- El Protocolo de resolución inversa de direcciones (**RARP**) determina las direcciones IP cuando se conoce la dirección MAC.

Imagine que desea comprobar la conectividad de un host, usted enviará un ping a la dirección IP del host en cuestión esperando algún tipo de respuesta (protocolo **ICMP**).

El host emisor debe conocer las direcciones físicas y lógicas del origen (las propias) y las del destino. Antes de enviar el ping buscara en su tabla ARP la dirección MAC del destinatario. Si este no supiera cuál es la dirección física de aquel enviaría una petición ARP con la dirección IP del receptor y la MAC en forma de broadcast. El receptor responderá con su MAC haciendo posible que el emisor agregue a su tabla esa dirección y envíe por fin el PING. Si el host destino esta dentro de otra red, quien responde en este caso es el router entregando su propia MAC para recibir el paquete y conmutarlo a la red correspondiente, es lo que se llama **ARP Proxy**.

Protocolos de enrutamiento

Los cambios que una red puede experimentar hacen poco factible la utilización de rutas estáticas, el administrador se vería forzado a reconfigurar los routers ante cada cambio. El enrutamiento dinámico permite que los routers actualicen conocimientos ante posibles cambios sin tener que recurrir a nuevas configuraciones. Un protocolo de enrutamiento permite determinar dinámicamente las rutas y mantener actualizadas sus tablas.

Es importante diferenciar los protocolos **enrutados** y los de **enrutamiento**. Un protocolo enrutado lleva una completa información de capa tres, como TCP/IP, IPX, APPLE TALK, Net BEUI. Un protocolo de enrutamiento es el utilizado por los routers para mantener tablas de enrutamiento y así poder elegir la mejor ruta hacia un destino. Ejemplo de protocolos de enrutamiento: RIP, IGRP, EIGRP, OSPF...

Existen dos grandes núcleos de protocolos de enrutamiento:

- **Protocolos de gateway interior (IGP)** Se usan para intercambiar información de enrutamiento dentro de un sistema autónomo. (RIP, IGRP).
- **Protocolos de gateway exterior (EGP)** Se usan para intercambiar información de enrutamiento entre sistemas autónomos. (BGP).

Un **sistema autónomo (AS)** es un conjunto de redes bajo un dominio administrativo común. El uso de números de sistema autónomos asignados por entidades (IANA, ARIN, RIPE...), solo es necesario si el sistema utiliza algún BGP, o una red publica como Internet.



Los sistemas autónomos intercambian información a través de protocolos de Gateway exterior como BGP.

Distancia administrativa

Los routers son multiprotocolos, lo que quiere decir que pueden utilizar al mismo tiempo diferentes protocolos incluidas rutas estáticas. Si varios protocolos proporcionan la misma información de enrutamiento se les debe otorgar un valor administrativo. La distancia administrativa permite que un protocolo tenga mayor prioridad sobre otro si su distancia administrativa es menor. Este valor viene por defecto, sin embargo el administrador puede configurar un valor diferente si así lo determina. El rango de las distancias administrativas varía de 1 a 255 y se especifica en la siguiente tabla:

INTERFAZ	0
RUTA ESTÁTICA	1
EIGRP INTERNO	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
EIGRP EXTERNO	170
INALCANZABLE	255

Valor predeterminado de distancia
Administrativa

Clases de protocolos de enrutamiento

Todos los protocolos de enrutamiento cumplen las mismas funciones, aprendiendo y determinando cuales la mejor ruta hacia un destino.

Existen dos clases de protocolos de enrutamiento:

Vector distancia:

Este tipo de protocolo determina la dirección y la distancia a cualquier red, RIP e IGRP son dos ejemplos.

Estado de enlace:

Estos protocolos una idea exacta de la topología de la red y no efectúan actualizaciones a menos que ocurra un cambio en la topología, OSPF e IS-IS son dos ejemplos.

Un tercer caso de protocolo de enrutamiento seria un método **Híbrido** como es el caso de EIGRP, propietario de Cisco, que combina aspectos de los dos casos anteriores.

Un protocolo de enrutamiento también puede clasificarse como **classfull** (con clase) o **classless** (sin clase).

Los router que no pasan la información de las subredes son con clase, porque el router solo codifica la clase de red IP para la información de enrutamiento como es el caso de RIP o IGRP. En cuanto el direccionamiento IP fue adaptándose a las necesidades de crecimiento los protocolos se hicieron más sofisticados, pudiendo manipular máscaras de subred, estos protocolos son los llamados sin clase.

Un administrador puede habilitar el comando **ip classless** para el caso que se reciba un paquete hacia una subred desconocida, el router enviará ese paquete a la ruta predeterminada para enviar la trama al siguiente salto.

ENRUTAMIENTO POR VECTOR DISTANCIA

Los algoritmos de enrutamiento basados en vectores, pasan copias periódicas de una tabla de enrutamiento de un router a otro y acumulan vectores de distancia. (Distancia es una medida de longitud, mientras que vector significa una dirección). Las actualizaciones regulares entre routers comunican los cambios en la topología. Cada protocolo de enrutamiento basado en vectores de distancia utiliza un algoritmo distinto para determinar la ruta óptima. El algoritmo genera

un número, denominado métrica de ruta, para cada ruta existente a través de la red. Normalmente cuanto menor es este valor, mejor es la ruta.

Métricas usadas habitualmente por los protocolos de enrutamiento

Las métricas pueden calcularse basándose en una sola o en múltiples características de la ruta.

Número de saltos:

Número de routers por los que pasará un paquete.

Tic tac (Novell):

Retraso en un enlace de datos usando pulsos de reloj de PC IBM (msg).

Coste:

Valor arbitrario, basado generalmente en el ancho de banda, el coste económico u otra medida, que puede ser asignado por un administrador de red.

Ancho de banda:

Capacidad de datos de un enlace. Por ejemplo, un enlace Ethernet de 10Mb será preferible normalmente a una línea dedicada de 64Kb.

Retraso:

Tiempo en mover un paquete de un origen a un destino.

Carga:

Cantidad de actividad existente en un recurso de red, como un router o un enlace.

Fiabilidad:

Normalmente, se refiere al valor de errores de bits de cada enlace de red.

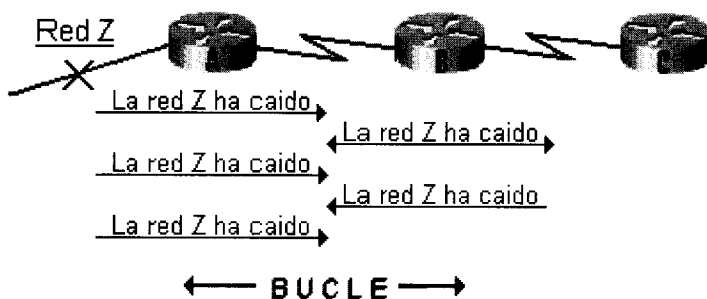
MTU:

Unidad máxima de transmisión. Longitud máxima de trama en octetos que puede ser aceptada por todos los enlaces de la ruta.

Bucles de enrutamiento

El proceso de mantener la información de enrutamiento puede generar errores si no existe una convergencia rápida y precisa entre los routers. En los diseños de redes complejas pueden producirse bucles o loops de enrutamiento. Los routers

transmiten a sus vecinos actualizaciones constantes, si un router **A** recibe de **B** una actualización de una red que ha caído, este transmitirá dicha información a todos sus vecinos incluido al router **B** quien primeramente le informó de la novedad, a su vez el router **B** volverá a comunicar que la red se a caído al router **A** formándose un bucle interminable.



Los routers intercambian información con sus vecinos, si el router A informa que se ha caído una red, su vecino le devolverá dicha información formándose un bucle.

SOLUCIÓN A LOS BUCLES DE ENRUTAMIENTO

Métrica máxima:

El protocolo de enrutamiento permite la repetición del bucle de enrutamiento hasta que la métrica exceda del valor máximo permitido. En el caso de RIP el bucle solo estará permitido hasta que la métrica llegue a 16 saltos.

Horizonte dividido (split horizont):

Resulta sin sentido volver a enviar información acerca de una ruta a la dirección de donde ha venido la actualización original. A menos que el Router conozca otra ruta viable al destino no devolverá información por la interfaz donde la recibió.

Envenenamiento de rutas:

El router crea una entrada en la tabla donde guarda el estado coherente de la red en tanto que otros routers convergen gradualmente y de forma correcta después de un cambio en la topología. La actualización inversa es una operación complementaria del horizonte dividido. El objetivo es asegurarse de que todos los routers del segmento hayan recibido información acerca de la ruta envenenada.

Temporizadores:

Los temporizadores hacen que los routers no apliquen ningún cambio que pudiera afectar a las rutas durante un periodo de tiempo determinado. Si llega una actualización con una métrica mejor a la red inaccesible, el router se actualiza y elimina el temporizador. Si no recibe cambios óptimos dará por caída la red al transcurrir el tiempo de espera.

ENRUTAMIENTO POR ESTADO DE ENLACE

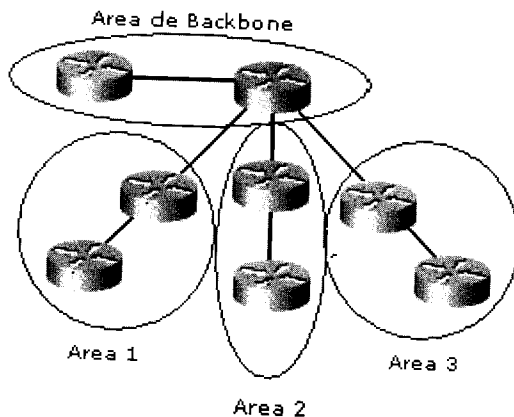
Los protocolos de estado de enlace construyen tablas de enrutamiento basándose en una base de datos de la topología. Esta base de datos se elabora a partir de paquetes de estado de enlace que se pasan entre todos los routers para describir el estado de una red.

El algoritmo **SPF** (primero la ruta libre más corta) usa la base de datos para construir la tabla de enrutamiento. El enrutamiento por estado de enlace, utiliza paquetes de estado de enlace (LSP), una base de datos topología, el algoritmo SPF, el árbol SPF resultantes y por ultimo, una tabla de enrutamiento con las rutas y puertos de cada red.

Los protocolos de enrutamiento por estado de enlace recopilan la información necesaria de todos los routers de la red, cada uno de los routers calcula de forma independiente su mejor ruta hacia un destino. De esta manera se producen muy pocos errores al tener una visión independiente de la red por cada router.

Estos protocolos prácticamente no tienen limitaciones de saltos. Cuando se produce un fallo en la red el router que detecta el error utiliza una dirección multicast para enviar una tabla LSA, cada router recibe y la reenvía a sus vecinos. La métrica utilizada se base en el coste, que surge a partir del algoritmo de Dijkstra y se basa en la velocidad del enlace.

Los protocolos de estado de enlace son protocolos de enrutamiento de gateway interior, se utilizan dentro de un mismo **AS** (sistema autónomo) el que puede dividirse en sectores más pequeños como divisiones lógicas llamadas Áreas. El Área 0 es el área principal del AS.



Jerarquía de estado de enlace dentro de un sistema autónomo

Los protocolos de estado de enlace son más rápidos y más escalables que los de vector distancia, algunas razones podrían ser:

- *Los protocolos de estado de enlace solo envían actualizaciones cuando hay cambios en la topología.*
- *Las actualizaciones periódicas son menos frecuentes que en los protocolos por vector de distancia.*
- *Las redes que ejecutan protocolos de enrutamiento por estado de enlace pueden ser segmentadas en distintas áreas jerárquicamente organizadas, limitando así el alcance de los cambios de rutas.*
- *Las redes que ejecutan protocolos de enrutamiento por estado de enlace soportan direccionamiento sin clase.*
- *Las redes con protocolos de enrutamiento por estado de enlace soportan resúmenes de ruta.*



RECUERDE:



Los protocolos enrutables son utilizados por los ordenadores para poder "hablar" entre ellos



Los protocolos de enrutamiento son utilizados por los routers para poder "hablar" entre ellos



RECUERDE:

PROTOCOLO	RIP	IGRP	EIGRP	IS-IS	OSPF
VECTOR DISTANCIA	X	X	X		
ESTADO DE ENLACE				X	X
RESUMEN AUTOMÁTICO DE RUTA	X	X	X	X	
RESUMEN MANUAL DE RUTA	X	X	X	X	X
SOPORTE VLSM			X	X	X
PROPIETARIO DE CISCO		X	X		
CONVERGENCIA	LENTO	LENTO	MUY RÁPIDO	MUY RÁPIDO	MUY RÁPIDO
DISTANCIA ADMINISTRATIVA	120	100	90	115	110
TIEMPO DE ACTUALIZACIÓN	30	90			
MÉTRICA	SALTOS	COMPUESTA	COMPUESTA	COSTE	COSTE

El termino **convergencia** hace referencia a la capacidad de los router de poseer la misma información de enrutamiento actualizada.

Las siglas **VLSM** son las de máscara de subred de longitud variable.