

Nivel de Red

IPv6

Este capítulo se desarrollarán los contenidos relativos al nivel de red del modelo de referencia OSI e Internet en las redes de ordenadores. Nos centraremos en el protocolo IP de Internet en la versión 6.



Nivel de red - IPv6 by Rafael Lozano is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 España License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/).

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Necesidad de IPv6.....	2
1.2	Coexistencia IPv4 y IPv6.....	2
2	Encapsulación. Paquete IPv6.....	2
3	Direccionamiento.....	4
3.1	Formato comprimido.....	5
3.1.1	Regla 1.....	5
3.1.2	Regla 2.....	6
3.2	Tipos de direcciones IPv6.....	6
3.3	Longitud de prefijo IPv6.....	7
3.4	Direcciones IPv6 de unidifusión.....	7
3.4.1	Direcciones IPv6 de unidifusión de enlace local.....	8
3.4.2	Estructura de una dirección IPv6 de unidifusión global.....	9
3.4.2.1	Prefijo de enrutamiento global.....	9
3.4.2.2	ID de subred.....	10
3.4.2.3	ID de interfaz.....	10
3.5	Asignación de direcciones IPv6 de unidifusión global.....	10
3.5.1	Configuración estática.....	10
3.5.2	Configuración dinámica.....	10
3.5.2.1	Opción 1. Solo SLAAC.....	11
3.5.2.2	Opción 2. SLAAC y DHCPv6 sin información de estado.....	12
3.5.2.3	Opción 3. DHCPv6 con información de estado.....	12
3.5.3	Proceso EUI-64 y generación aleatoria.....	13
3.5.3.1	EUI-64.....	13
3.5.3.2	ID de interfaz generada aleatoriamente.....	14
3.6	Asignación de direcciones IPv6 de enlace local.....	15
3.7	División de red en IPv6.....	15
4	Configuración del router IPv6.....	16
4.1	Configurar interfaces del router.....	17
4.1.1	Configuración de una dirección de unidifusión global.....	17
4.1.2	Configuración de una dirección de enlace local.....	19
4.1.3	Configuración estática de direcciones de enlace local.....	20
4.1.4	Verificar la configuración.....	21
4.2	SLAAC.....	23
4.2.1	Configuración de IPv6 en un host.....	23
4.3	Enrutamiento estático.....	24
4.3.1	Ruta estática de siguiente salto.....	25
4.3.2	Ruta estática conectada directamente.....	27
4.3.3	Ruta estática completamente especificada.....	28
4.3.4	Ruta estática predeterminada.....	29
4.3.5	Verificación de las rutas estáticas.....	30

4.3.6 Ruta estática flotante.....	31
5 Bibliografía.....	37

Nivel de red

IPv6

1 Introducción

A principios de la década de 1990, los problemas con IPv4 preocuparon al grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF) que, en consecuencia, comenzó a buscar un reemplazo. Esto tuvo como resultado el desarrollo de IP versión 6 (IPv6). IPv6 supera las limitaciones de IPv4 y representa una mejora importante con características que se adaptan mejor a las demandas de red actuales y previsibles. Las mejoras de IPv6 incluyen lo siguiente:

- ✓ Mayor espacio de direcciones.- Las direcciones IPv6 se basan en el direccionamiento jerárquico de 128 bits en comparación con los 32 bits de IPv4.
- ✓ Mejor manejo de paquetes.- Se redujo la cantidad de campos del encabezado de IPv6 para hacerlo más simple.
- ✓ Se elimina la necesidad de NAT.- Al tener un número tan grande de direcciones IPv6 públicas, la NAT entre las direcciones IPv4 privadas y públicas ya no es necesaria. Esto evita algunos problemas de aplicación inducidos por NAT que tuvieron algunas aplicaciones que necesitan conectividad completa.

IPv6 está diseñado para ser el sucesor de IPv4. IPv6 tiene un mayor espacio de direcciones de 128 bits, lo que proporciona 340 sextillones de direcciones. Sin embargo, IPv6 es más que solo direcciones más extensas. Cuando el IETF comenzó el desarrollo de un sucesor de IPv4, utilizó esta oportunidad para corregir las limitaciones de IPv4 e incluir mejoras adicionales.

1.1 Necesidad de IPv6

El agotamiento del espacio de direcciones IPv4 fue el factor que motivó la migración a IPv6. Debido al aumento de la conexión a Internet en África, Asia y otras áreas del mundo, las direcciones IPv4 ya no son suficientes como para admitir este crecimiento. IPv4 tiene un máximo teórico de 4300 millones de direcciones. Las direcciones privadas en combinación con la traducción de direcciones de red (NAT) fueron esenciales para demorar la reducción del espacio de direcciones IPv4. Sin embargo, la NAT rompe muchas aplicaciones y tiene limitaciones que obstaculizan considerablemente las comunicaciones entre pares.

En la actualidad, Internet es significativamente distinta de como era en las últimas décadas. Los dispositivos del futuro preparados para acceder a Internet y equipados con sensores incluirán desde automóviles y dispositivos biomédicos hasta electrodomésticos y ecosistemas naturales. Con una población que accede a Internet cada vez mayor, un espacio de direcciones IPv4 limitado, los problemas de NAT y la Internet de todo, llegó el momento de comenzar la transición hacia IPv6.

1.2 Coexistencia IPv4 y IPv6

No hay una única fecha para realizar la transición a IPv6. En un futuro cercano, IPv4 e IPv6 coexistirán. Se espera que la transición demore años. El IETF creó diversos protocolos y herramientas para ayudar a los administradores de redes a migrar las redes a IPv6. Las técnicas de migración pueden dividirse en tres categorías:

- ✓ Dual-stack.- Esta técnica permite que IPv4 e IPv6 coexistan en el mismo segmento de red. Los dispositivos dual-stack ejecutan pilas de protocolos IPv4 e IPv6 de manera simultánea.
- ✓ Tunnelización.- El protocolo de túnel es un método para transportar un paquete IPv6 en una red IPv4. El paquete IPv6 se encapsula dentro de un paquete IPv4, de manera similar a lo que sucede con otros tipos de datos.
- ✓ Traducción.- La traducción de direcciones de red 64 (NAT64) permite que los dispositivos habilitados para IPv6 se comuniquen con los dispositivos habilitados para IPv4 mediante una técnica de traducción similar a NAT para IPv4. Un paquete IPv6 se traduce a un paquete IPv4 y viceversa.

La tunnelización y la traducción solo se usan cuando es necesario. El objetivo debe ser las comunicaciones IPv6 nativas de origen a destino.

2 Encapsulación. Paquete IPv6

Uno de las mejoras de diseño más importantes de IPv6 con respecto a IPv4 es el encabezado simplificado de IPv6.

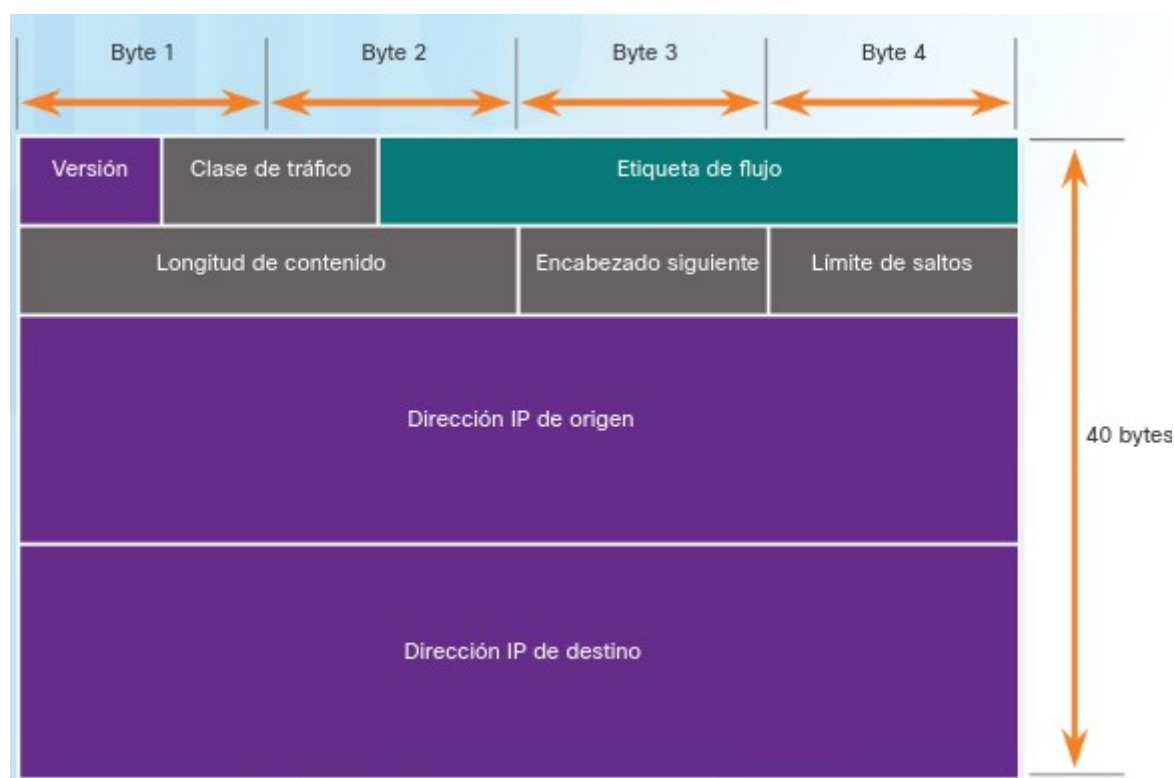


Figura 1.- Encabezado IPv6

El encabezado simplificado de IPv6 que se muestra en la figura consta de 40 octetos (principalmente debido a la longitud de las direcciones de IPv6 de origen y de destino) y 8 campos de encabezado (3 campos de encabezado de IPv4 y 5 campos de encabezado adicionales).

Los campos del encabezado de paquetes IPv6 incluyen lo siguiente:

- ✓ Versión.- Este campo contiene un valor binario de 4 bits establecido en 0110 que lo identifica como un paquete IP versión 6.
- ✓ Clase de tráfico.- Este campo de 8 bits es el equivalente al campo DS de IPv4
- ✓ Etiqueta de flujo.- Este campo de 20 bits sugiere que todos los paquetes con la misma etiqueta de flujo reciben el mismo tipo de manejo de los routers.
- ✓ Longitud de contenido.- Este campo de 16 bits indica la longitud de la porción de datos o la longitud de contenido del paquete IPv6.
- ✓ Encabezado siguiente.- Este campo de 8 bits es el equivalente al campo protocolo de IPv4. Es un valor que indica el tipo de contenido de datos que lleva el paquete, lo que permite que la capa de red transmita la información al protocolo de capa superior apropiado.
- ✓ Límite de saltos.- Este campo de 8 bits reemplaza al campo TTL de IPv4. Cada router que reenvía el paquete reduce este valor en 1. Cuando llega a cero, se descarta el paquete y se envía un mensaje de tiempo superado de ICMPv6 al host de origen que

indica que el paquete no llegó a destino porque excedió el límite de saltos.

- ✓ Dirección IPv6 de origen.- Es un campo de 128 bits que identifica la dirección IPv6 del host emisor.
- ✓ Dirección IPv6 de destino.- Es un campo de 128 bits que identifica la dirección IPv6 del host receptor.

A diferencia de IPv4, los routers no fragmentan de los paquetes IPv6 enrutados.

3 Direccionamiento

Las direcciones IPv6 tienen una longitud de 128 bits y se escriben como una cadena de valores hexadecimales. Cada 4 bits se representan con un único dígito hexadecimal para llegar a un total de 32 valores hexadecimales, como se muestra en la figura 1. Las direcciones IPv6 no distinguen entre mayúsculas y minúsculas, y pueden escribirse en minúsculas o en mayúsculas.

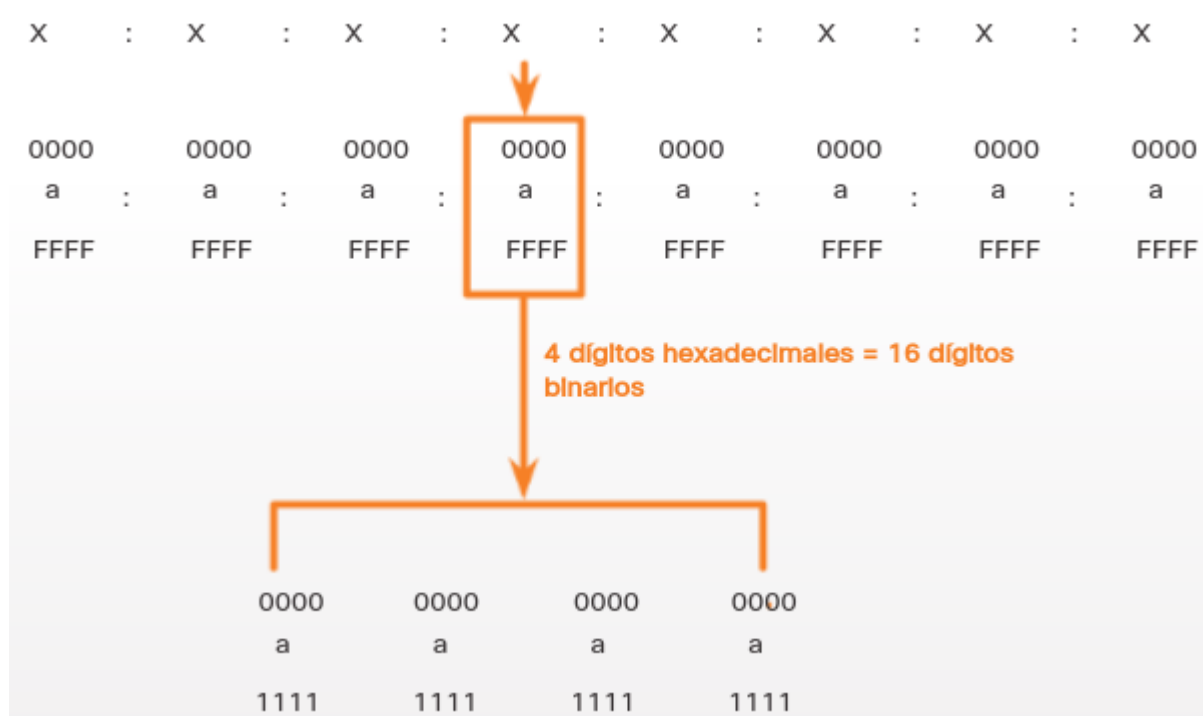


Figura 2.- Formato de dirección IPv6

Como se muestra en la figura, el formato preferido para escribir una dirección IPv6 es x:x:x:x:x:x:x:x, donde cada "x" consta de cuatro valores hexadecimales. Al hacer referencia a 8 bits de una dirección IPv4, utilizamos el término "octeto". En IPv6, un "hexeto" es el término no oficial que se utiliza para referirse a un segmento de 16 bits o cuatro valores hexadecimales. Cada "x" es un único hexeto, 16 bits o cuatro dígitos hexadecimales.

La dirección IPv6 se escribe utilizando los 32 dígitos hexadecimales. No significa necesariamente que sea el método ideal para representar la dirección IPv6. En las siguientes páginas, veremos dos reglas que permiten reducir el número de dígitos

necesarios para representar una dirección IPv6. La siguiente imagen muestra ejemplos de direcciones IPv6.

2001	:	0DB8	:	0000	:	1111	:	0000	:	0000	:	0000	:	0200
2001	:	0DB8	:	0000	:	00A3	:	ABCD	:	0000	:	0000	:	1234
2001	:	0DB8	:	000A	:	0001	:	0000	:	0000	:	0000	:	0100
2001	:	0DB8	:	AAAA	:	0001	:	0000	:	0000	:	0000	:	0200
FE80	:	0000	:	0000	:	0000	:	0123	:	4567	:	89AB	:	CDEF
FE80	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0001
FF02	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0001
FF02	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0001	:	FF00	:	0200
0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0001
0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000	:	0000

Figura 3.- Ejemplos de direcciones IPv6

3.1 Formato comprimido

Existen dos reglas que ayudan a simplificar la notación de una dirección IPv6. Vamos a verlas en detalle.

3.1.1 Regla 1

La primera regla para ayudar a reducir la notación de las direcciones IPv6 consiste en omitir los 0 (ceros) iniciales en cualquier sección de 16 bits o hexteto. Por ejemplo:

- ✓ 01AB puede representarse como 1AB.
- ✓ 09F0 puede representarse como 9F0.
- ✓ 0A00 puede representarse como A00.
- ✓ 00AB puede representarse como AB.

Recomendado	2001:0DB8:0000:1111:0000:0000:0000:0200
Sin ceros iniciales	2001: DB8: 0:1111: 0: 0: 0: 200

Figura 4.- Omisión de ceros

Esta regla solo es válida para los ceros iniciales, y NO para los ceros finales; de lo contrario, la dirección sería ambigua. Por ejemplo, el hexteto "ABC" podría ser "OABC" o "ABCO", pero estos no representan el mismo valor.

Nótese cómo la omisión de ceros iniciales da como resultado una representación más pequeña de la dirección.

3.1.2 Regla 2

La segunda regla que permite reducir la notación de direcciones IPv6 es que los dos puntos dobles (::) pueden reemplazar cualquier cadena única y contigua de uno o más segmentos de 16 bits (hextetos) compuestos solo por ceros.

Recomendado	2001:0DB8:0000:1111:0000:0000:0000:0200
Sin ceros iniciales	2001: DB8: 0:1111: 0: 0: 0: 200
Comprimido	2001:DB8:0:1111::200

Figura 5.- Notación con ::

Los dos puntos dobles (::) se pueden utilizar solamente una vez dentro de una dirección; de lo contrario, habría más de una dirección resultante posible. Cuando se utiliza junto con la técnica de omisión de ceros iniciales, la notación de direcciones IPv6 generalmente se puede reducir de manera considerable. Esto se suele conocer como "formato comprimido".

Una dirección incorrecta sería 2001:0DB8::ABCD::1234 ya que emplea dos veces los dos puntos dobles. Las posibles expansiones de direcciones comprimidas ambiguas:

- ✓ 2001:0DB8::ABCD:0000:0000:1234
- ✓ 2001:0DB8::ABCD:0000:0000:0000:1234
- ✓ 2001:0DB8:0000:ABCD::1234
- ✓ 2001:0DB8:0000:0000:ABCD::1234

3.2 Tipos de direcciones IPv6

Existen tres tipos de direcciones IPv6:

- ✓ Unidifusión.- Una dirección IPv6 de unidifusión identifica de manera única una interfaz de un dispositivo habilitado para IPv6. Las direcciones IPv6 de origen deben ser direcciones de unidifusión.
- ✓ Multidifusión.- Las direcciones IPv6 de multidifusión se usan para enviar un único paquete IPv6 a varios destinos.
- ✓ Difusión por proximidad.- Una dirección IPv6 de difusión por proximidad es cualquier dirección IPv6 de unidifusión que puede asignarse a varios dispositivos. Los paquetes enviados a una dirección de difusión por proximidad se enrutan al dispositivo más cercano que tenga esa dirección.

A diferencia de IPv4, IPv6 no tiene una dirección de difusión. Sin embargo, existe una dirección IPv6 de multidifusión de todos los nodos que brinda básicamente el mismo resultado.

3.3 Longitud de prefijo IPv6

IPv6 utiliza la longitud de prefijo para representar la porción de red de la dirección. IPv6 no utiliza la notación decimal punteada de máscara de subred. La longitud de prefijo se utiliza para indicar la porción de red de una dirección IPv6 mediante el formato de dirección IPv6/longitud de prefijo.

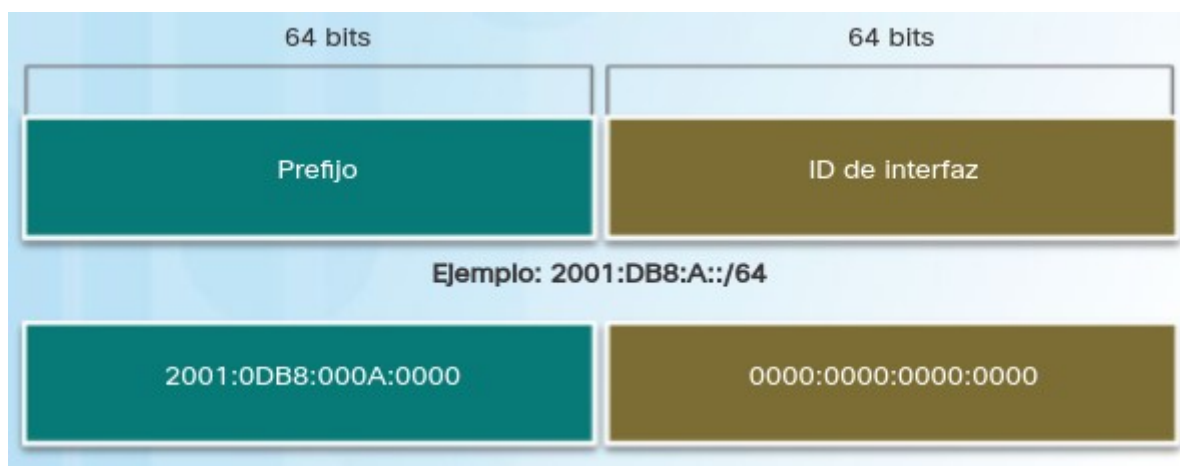


Figura 6.- Longitud de prefijo en IPv6

La longitud de prefijo puede ir de 0 a 128. Una longitud de prefijo IPv6 típica para LAN y la mayoría de los demás tipos de redes es /64. Esto significa que la porción de prefijo o de red de la dirección tiene una longitud de 64 bits, lo cual deja otros 64 bits para la ID de interfaz (porción de host) de la dirección.

3.4 Direcciones IPv6 de unidifusión

Las direcciones IPv6 de unidifusión identifican de forma exclusiva una interfaz en un dispositivo con IPv6 habilitado. Un paquete que se envía a una dirección de unidifusión es recibido por la interfaz que tiene asignada esa dirección. Como sucede con IPv4, las direcciones IPv6 de origen deben ser direcciones de unidifusión. Las direcciones IPv6 de

destino pueden ser direcciones de unidifusión o de multidifusión.

Los tipos de direcciones IPv6 de unidifusión más comunes son las direcciones de unidifusión globales (GUA) y las direcciones de unidifusión de enlace local.

- ✓ Unidifusión global.- Las direcciones de unidifusión globales son similares a las direcciones IPv4 públicas. Estas son direcciones enrutables de Internet globalmente exclusivas. Las direcciones de unidifusión globales pueden configurarse estáticamente o asignarse de forma dinámica.
- ✓ Enlace local.- Las direcciones enlace local se utilizan para comunicarse con otros dispositivos en el mismo enlace local. Con IPv6, el término “enlace” hace referencia a una subred. Las direcciones de enlace local se limitan a un único enlace. Su exclusividad se circunscribe solo para ese enlace, ya que no se pueden enrutar más allá del enlace. En otras palabras, los routers no reenvían paquetes con una dirección de origen o de destino de enlace local. Estas direcciones equivalen a las direcciones APIPA en el protocolo IPv4.
- ✓ Local única.- Otro tipo de dirección de unidifusión es la dirección de unidifusión local única. Las direcciones IPv6 locales únicas tienen ciertas similitudes con las direcciones privadas RFC 1918 para IPv4, pero existen grandes diferencias. Las direcciones locales únicas se utilizan para el direccionamiento local dentro de un sitio o entre una cantidad limitada de sitios. Estas direcciones no deberían poder enrutarse en la IPv6 global, y no deberían traducirse hacia direcciones IPv6 globales. Las direcciones locales únicas están en el rango de FC00::/7 a FDFF::/7.
- ✓ Bucle invertido.- Es la dirección ::1/128 y equivale en IPv4 a 127.0.0.1 o localhost.
- ✓ Dirección no especificada.- Es la dirección ::/128 y equivale en IPv4 a 0.0.0.0 lo que indica ausencia de dirección o ruta predeterminada.

Las direcciones locales únicas pueden usarse en dispositivos que nunca necesitan o nunca pueden acceder a otra red.

3.4.1 Direcciones IPv6 de unidifusión de enlace local

Una dirección IPv6 de enlace local permite que un dispositivo se comunique con otros dispositivos con IPv6 habilitado en el mismo enlace y solo en ese enlace (subred). Los paquetes con direcciones de enlace local de origen o destino no pueden enrutarse más allá del enlace en el que se originó el paquete.

La dirección de unidifusión global no es un requisito. Sin embargo, cada interfaz de red con IPv6 habilitado debe tener una dirección de enlace local.

Si en una interfaz no se configura una dirección de enlace local de forma manual, el dispositivo crea automáticamente su propia dirección sin comunicarse con un servidor DHCP. Los hosts con IPv6 habilitado crean una dirección IPv6 de enlace local incluso si no se asignó una dirección IPv6 de unidifusión global al dispositivo. Esto permite que los dispositivos con IPv6 habilitado se comuniquen con otros dispositivos con IPv6 habilitado en la misma subred. Esto incluye la comunicación con el gateway predeterminado (router).

Las direcciones IPv6 de enlace local están en el rango de FE80::/10. /10 indica que los primeros 10 bits son 1111 1110 10xx xxxx. El primer hexteto tiene un rango de 1111 1110 1000 0000 (FE80) a 1111 1110 1011 1111 (FEBF).

Generalmente, es la dirección de enlace local del router, y no la dirección de unidifusión global, que se usa como gateway predeterminado para otros dispositivos del enlace.

3.4.2 Estructura de una dirección IPv6 de unidifusión global

Las direcciones IPv6 de unidifusión globales (GUA) son globalmente únicas y enrutables en Internet IPv6. Estas direcciones son equivalentes a las direcciones IPv4 públicas. La Corporación de Internet para la Asignación de Nombres y Números (ICANN), operador de la IANA, asigna bloques de direcciones IPv6 a los cinco RIR. Actualmente, solo se asignan direcciones de unidifusión globales con los tres primeros bits 001 o 2000::/3. Es decir que el primer dígito hexadecimal de una dirección de GUA comienza con 2 o 3. Esto solo constituye un octavo del espacio total disponible de direcciones IPv6, sin incluir solamente una parte muy pequeña para otros tipos de direcciones de unidifusión y multidifusión.

Se reservó la dirección 2001:0DB8::/32 con fines de documentación, incluido el uso en ejemplos. Una dirección de unidifusión global consta de tres partes:

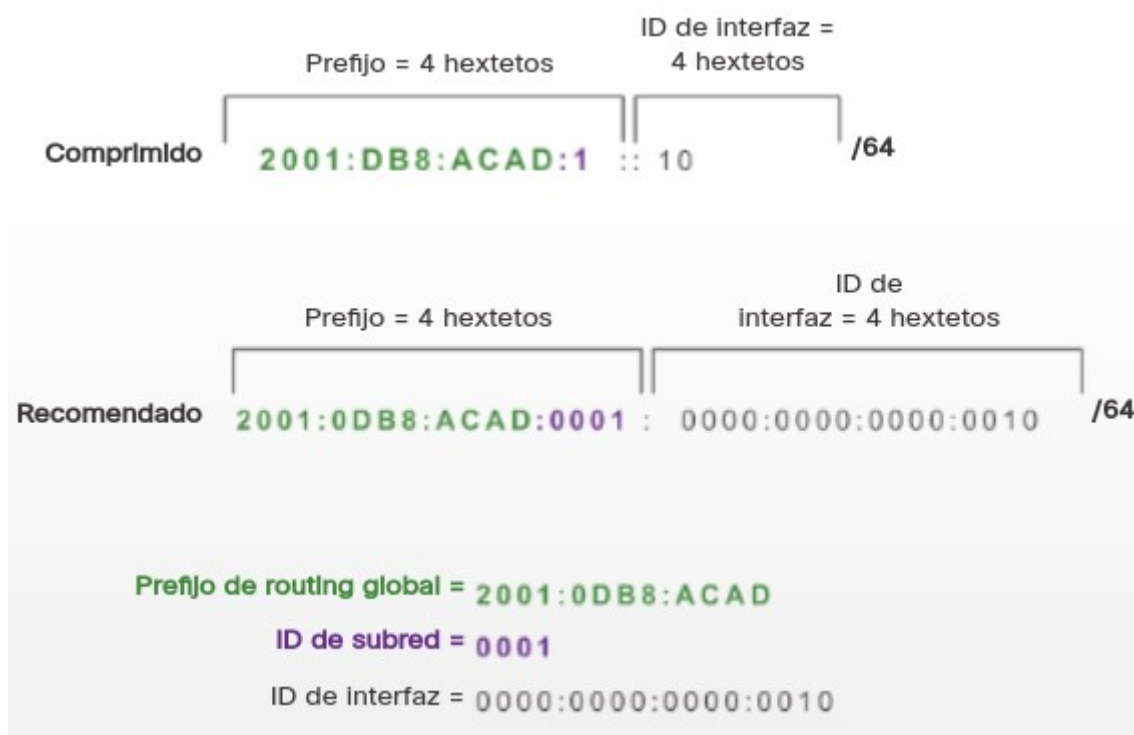


Figura 7.- Estructura de una dirección IPv6 de unidifusión global

3.4.2.1 Prefijo de enrutamiento global

El prefijo de enrutamiento global es la porción de prefijo, o de red, de la dirección que asigna el proveedor (por ejemplo, un ISP) a un cliente o a un sitio. En general, los RIR asignan

un prefijo de enrutamiento global /48 a los clientes. Estos incluyen a todos, desde redes comerciales de empresas a hogares individuales.

Por ejemplo, la dirección IPv6 2001:0DB8:ACAD::/48 tiene un prefijo que indica que los primeros 48 bits (3 hextetos) (2001:0DB8:ACAD) son la porción de prefijo o de red de la dirección. Los dos puntos dobles (::) antes de la longitud de prefijo /48 significan que el resto de la dirección se compone solo de ceros.

El tamaño del prefijo de enrutamiento global determina el tamaño de la ID de subred.

3.4.2.2 ID de subred

Las organizaciones utilizan la ID de subred para identificar subredes dentro de su ubicación. Cuanto mayor es la ID de subred, más subredes habrá disponibles.

3.4.2.3 ID de interfaz

La ID de interfaz IPv6 equivale a la porción de host de una dirección IPv4. Se utiliza el término “ID de interfaz” debido a que un único host puede tener varias interfaces, cada una con una o más direcciones IPv6. Se recomienda especialmente usar subredes /64 en la mayoría de los casos. En otras palabras, una ID de interfaz de 64 bits.

A diferencia de IPv4, en IPv6, pueden asignarse a un dispositivo las direcciones de host compuestas solo por ceros y solo por unos. Se puede usar la dirección compuesta solo por unos debido al hecho de que en IPv6 no se usan las direcciones de difusión. Las direcciones compuestas solo por ceros también pueden usarse, pero se reservan como dirección de difusión por proximidad subred-router, y solo deben asignarse a los routers.

Una forma fácil de leer la mayoría de las direcciones IPv6 es contar la cantidad de hextetos. Como se muestra en la figura anterior, en una dirección de unidifusión global /64, los primeros cuatro hextetos son para la porción de red de la dirección, y el cuarto hexteto indica la ID de subred. Los cuatro hextetos restantes son para la ID de interfaz.

3.5 Asignación de direcciones IPv6 de unidifusión global

Se pueden asignar direcciones IPv6 de unidifusión global a los dispositivos de las siguientes formas:

3.5.1 Configuración estática

Este método es similar a IPv4, para los dispositivos que necesiten una dirección IP fija. El administrador de la red asigna manualmente una dirección IPv6 a la interfaz de un dispositivo.

3.5.2 Configuración dinámica

Con configuración dinámica, un dispositivo IPv6 puede obtener su dirección IPv6 y otros parámetros IPv6 automáticamente. Existen tres formas en las que dos de ellas emplea SLAAC. La configuración automática de dirección independiente del estado (SLAAC) es un método que permite que un dispositivo obtenga su prefijo, la longitud de prefijo, la dirección de gateway predeterminado y otra información de un router IPv6, sin usar un servidor DHCPv6.

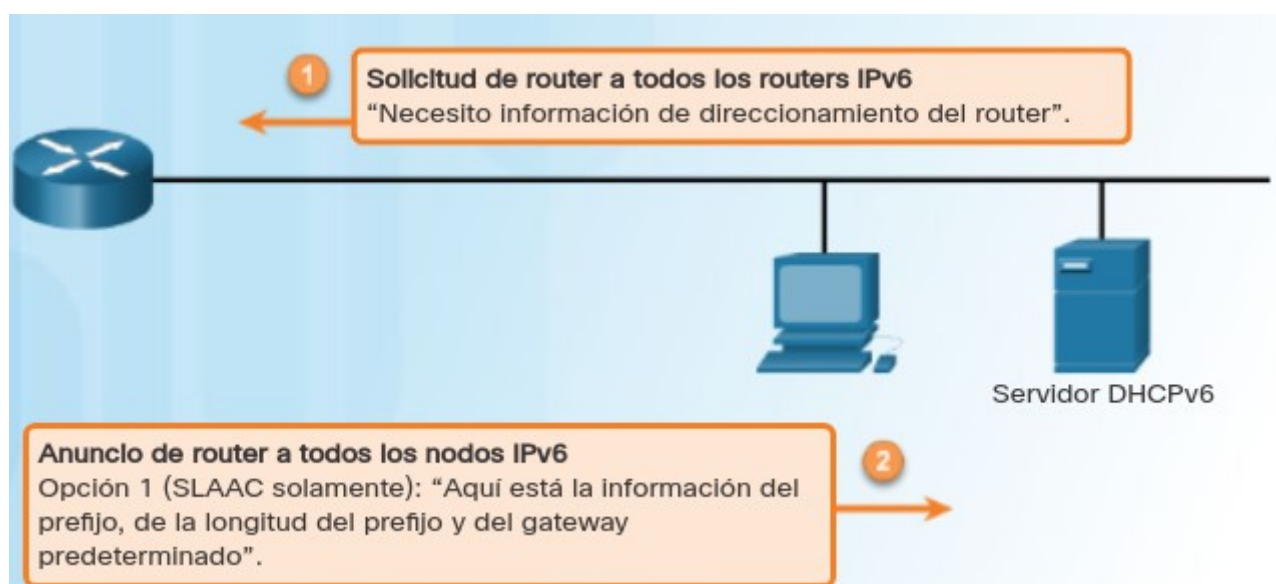


Figura 8.- SLAAC

Mediante SLAAC, los dispositivos obtienen esta información necesaria mediante mensajes de anuncio de router (RA) de ICMPv6 que el router local envía periódicamente cada 200 segundos a todos los dispositivos con IPv6 habilitado en la red. También se envía un mensaje RA en respuesta a un host que envía un mensaje ICMPv6 de solicitud de router (RS).

3.5.2.1 Opción 1. Solo SLAAC

Esta es la opción predeterminada. El mensaje RA de ICMPv6 es una sugerencia a un dispositivo sobre cómo obtener una dirección IPv6 de unidifusión global. La decisión final la tiene el sistema operativo del dispositivo. El mensaje RA de ICMPv6 incluye lo siguiente:

- ✓ Prefijo de red y longitud de prefijo.- Indica la red a la que pertenece el dispositivo.
- ✓ Dirección de gateway predeterminado.- Es una dirección IPv6 de enlace local, la dirección IPv6 de origen del mensaje RA.
- ✓ Direcciones DNS y nombre de dominio.- Direcciones de los servidores DNS y un nombre de dominio.

El mensaje RA sugiere que el dispositivo receptor use la información de dicho mensaje para crear su propia dirección IPv6 de unidifusión global y para toda la demás información. No se requieren los servicios de un servidor DHCPv6. SLAAC es independiente del estado, o sea que no existe un servidor central que asigne direcciones de unidifusión globales y mantenga una lista de los dispositivos y sus direcciones. Con SLAAC, el dispositivo cliente usa la información del mensaje RA para crear su propia dirección de unidifusión global. Las dos partes de la dirección se crean del siguiente modo:

- ✓ Prefijo.- Se recibe en el mensaje RA.
- ✓ ID de interfaz.- Usa el proceso EUI-64 o genera un número aleatorio de 64 bits.

3.5.2.2 Opción 2. SLAAC y DHCPv6 sin información de estado

Con esta opción, el mensaje RA sugiere que el dispositivo use lo siguiente:

- ✓ SLAAC para crear su propia dirección IPv6 de unidifusión global.
- ✓ La dirección de enlace local del router, la dirección IPv6 de origen del mensaje RA para la dirección de gateway predeterminado
- ✓ Un servidor DHCPv6 sin información de estado para obtener otra información como la dirección del servidor DNS y el nombre de dominio

Un servidor DHCPv6 sin información de estado distribuye las direcciones del servidor DNS y los nombres de dominio. No asigna direcciones de unidifusión globales.

3.5.2.3 Opción 3. DHCPv6 con información de estado

DHCPv6 con información de estado es similar a DHCP para IPv4. Un dispositivo puede recibir automáticamente la información de direccionamiento, que incluye una dirección de unidifusión global, la longitud de prefijo y las direcciones de los servidores DNS que usan los servicios de un servidor DHCPv6 con información de estado.

Con esta opción, el mensaje RA sugiere que el dispositivo use lo siguiente:

- ✓ La dirección de enlace local del router, la dirección IPv6 de origen del RA para la dirección de gateway predeterminado
- ✓ Un servidor DHCPv6 con información de estado para obtener una dirección de unidifusión global, una dirección del servidor DNS, un nombre de dominio y toda la información restante.

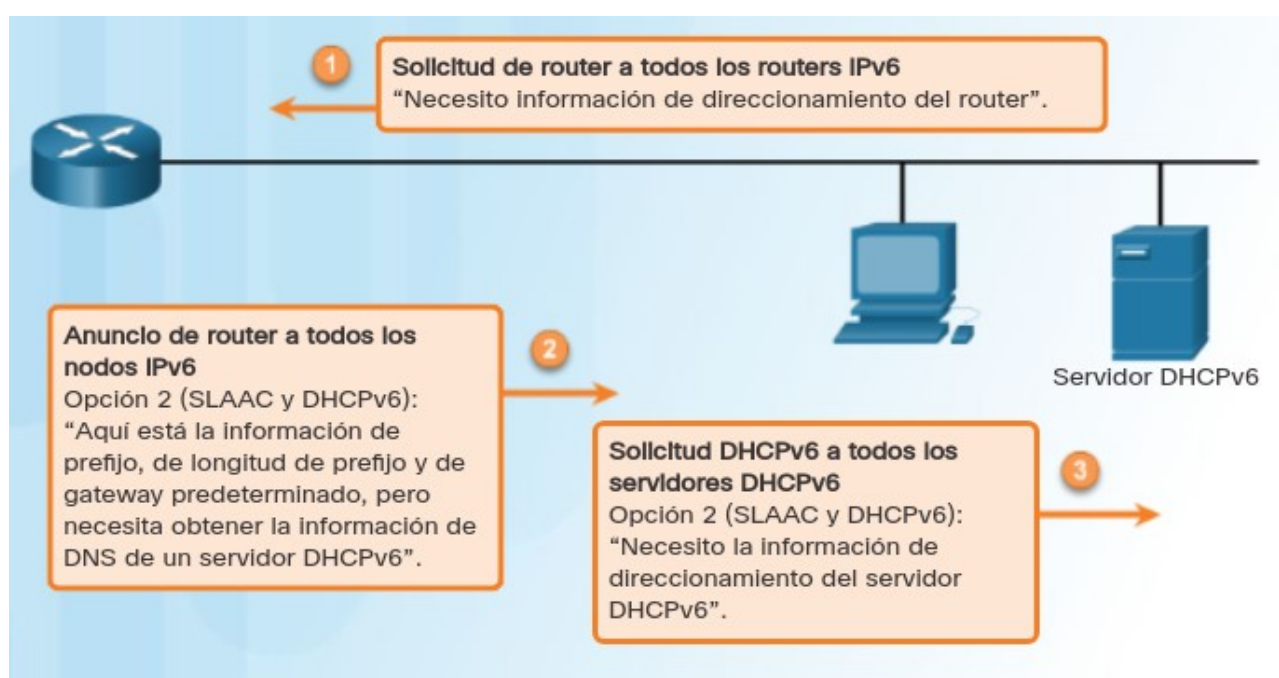


Figura 9.- Configuración dinámica con SLAAC y DHCPv6

Un servidor DHCPv6 con información de estado asigna y mantiene una lista de los dispositivos a los que ha asignado una dirección IPv6 y qué dirección ha recibido. La dirección de gateway predeterminado solo puede obtenerse de manera dinámica del mensaje RA. El servidor DHCPv6 con información de estado o sin ella no brinda la dirección de gateway predeterminado.

3.5.3 Proceso EUI-64 y generación aleatoria

Cuando el mensaje RA es SLAAC o SLAAC con DHCPv6 sin información de estado, el cliente debe generar su propia ID de interfaz. El cliente conoce la porción de prefijo de la dirección del mensaje RA, pero debe crear su propia ID de interfaz. La ID de interfaz puede crearse mediante el proceso EUI-64 o mediante un número de 64 bits de generación aleatoria.

3.5.3.1 EUI-64

El IEEE definió el identificador único extendido (EUI) o proceso EUI-64 modificado. Este proceso utiliza la dirección MAC de Ethernet de 48 bits de un cliente e introduce otros 16 bits en medio de la dirección MAC de 48 bits para crear una ID de interfaz de 64 bits.

Las ID de interfaz EUI-64 se representan en sistema binario y constan de tres partes:

- ✓ Los 24 bits del OUI (identificador del fabricante) de la dirección MAC del cliente, pero el séptimo bit (bit universal/local, U/L) se invierte. Esto quiere decir que si el séptimo bit es un 0, se transforma en un 1, y viceversa.
- ✓ Valor de 16 bits FFFE introducido (en formato hexadecimal).
- ✓ Identificador de dispositivo de 24 bits de la dirección MAC del cliente.

En la siguiente figura, se ilustra el proceso EUI-64, con la siguiente dirección MAC de GigabitEthernet de R1: FC99:4775:CEE0.

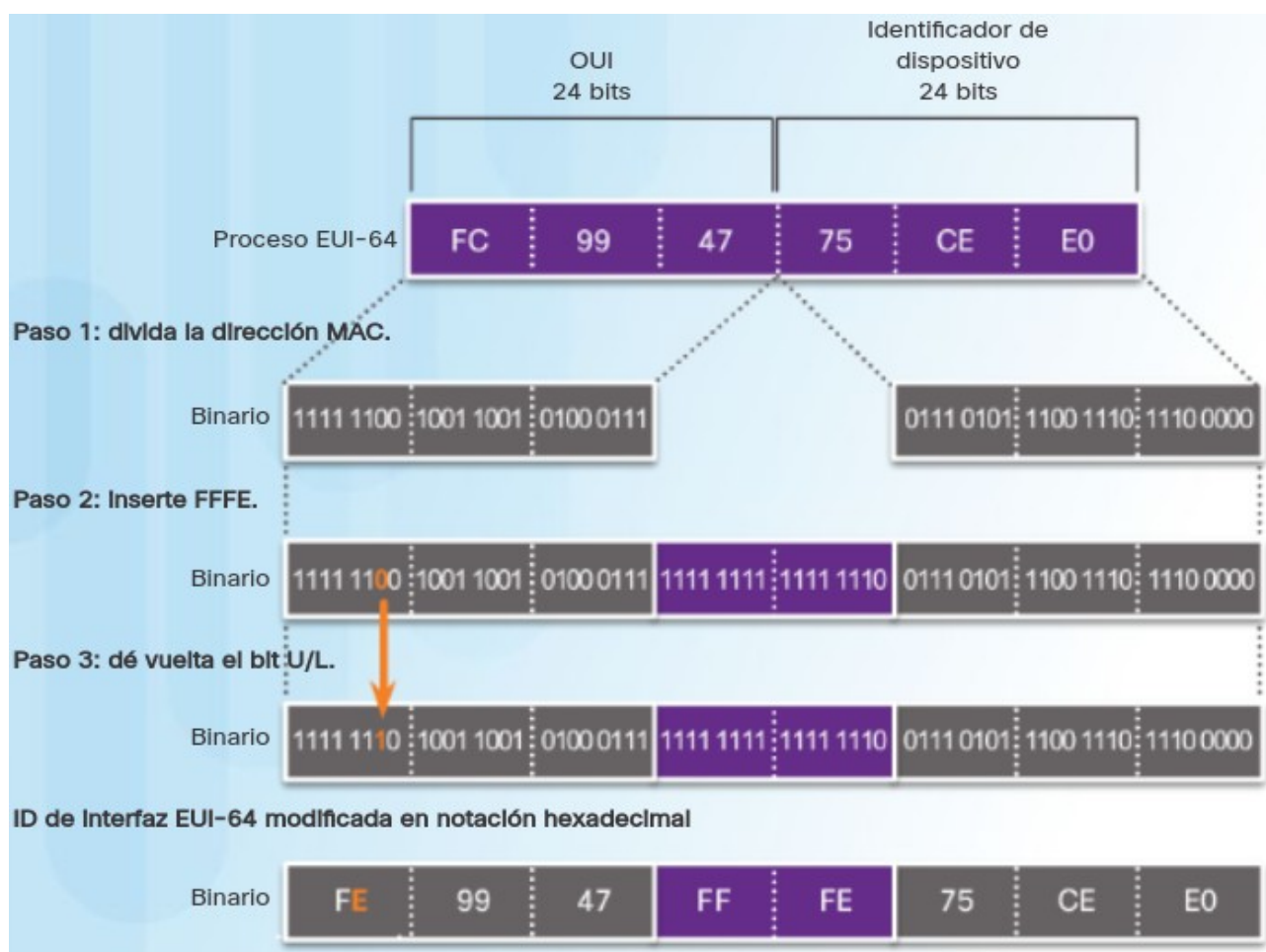


Figura 10.- Proceso EUI-64

La ventaja de EUI-64 es que se puede utilizar la dirección MAC de Ethernet para determinar la ID de interfaz. También permite que los administradores de redes rastreen fácilmente una dirección IPv6 a un terminal mediante la dirección MAC única. Sin embargo, esto generó inquietudes a muchos usuarios con respecto a la privacidad. Les preocupa que los paquetes puedan ser rastreados al PC físico real. Debido a estas inquietudes, se puede utilizar en cambio una ID de interfaz generada aleatoriamente.

3.5.3.2 ID de interfaz generada aleatoriamente

Según el sistema operativo, un dispositivo puede utilizar una ID de interfaz generada aleatoriamente en lugar de utilizar la dirección MAC y el proceso EUI-64. Por ejemplo, a partir de Windows Vista, Windows utiliza una ID de interfaz generada aleatoriamente en lugar de una ID de interfaz creada mediante EUI-64. Windows XP y los sistemas operativos Windows anteriores utilizaban EUI-64.

Después de establecer la ID de interfaz se combina con un prefijo IPv6 en el mensaje RA para crear una dirección de unidifusión global.

Para garantizar la exclusividad de cualquier dirección IPv6 de unidifusión, el cliente puede usar un proceso denominado "detección de direcciones duplicadas" (DAD). Es similar

a una solicitud de ARP para su propia dirección. Si no se obtiene una respuesta, la dirección es única.

3.6 Asignación de direcciones IPv6 de enlace local

Todos los dispositivos IPv6 deben tener direcciones IPv6 de enlace local. Las direcciones de enlace local se pueden establecer dinámicamente o se pueden configurar de forma manual como direcciones de enlace local estáticas.

La dirección de enlace local dinámica se crea con el prefijo FE80::/10 y la ID de interfaz mediante el proceso EUI-64 o un número de 64 bits de generación aleatoria, depende del sistema operativo.

Configurar la dirección de enlace local manualmente permite crear una dirección reconocible y más fácil de recordar. Por lo general, solo es necesario crear direcciones de enlace local reconocibles en los routers. Esto es útil, ya que utilizan direcciones de enlace local del router como direcciones de gateway predeterminado y en los mensajes anuncio de router (RA).

3.7 División de red en IPv6

La división en subredes IPv6 requiere un enfoque diferente que la división en subredes IPv4. Las mismas razones para la división en subredes del espacio de asignación de direcciones IPv4 para administrar el tráfico de red también se aplican a IPv6. Sin embargo, debido a la gran cantidad de direcciones IPv6, el agotamiento de direcciones no es relevante a la hora de dividir una red en subredes. Debido a ello, las razones para dividir una red IPv6 en subredes se debe más a la necesidad de administrar y asignar subredes IPv6 tanto a ISPs como a clientes.

La división en subredes IPv4 se debe tanto a la limitación de los dominios de difusión y a la administración de la escasez de direcciones IPv4. Para ayudar a conservar las direcciones IPv4 utilizamos VLSM. En la división en subredes IPv6, la conservación del espacio de direcciones no es un problema. La división en subredes IPv6 tiene que ver con la creación de una jerarquía de direccionamiento basada en la cantidad de subredes necesarias.

Recordemos que existen dos tipos de direcciones IPv6 asignables: una dirección IPv6 de enlace local nunca se subdivide, ya que solo existe en el enlace local; sin embargo, una dirección IPv6 de unidifusión global se puede dividir.

La dirección IPv6 de unidifusión global consiste, por lo general, en un prefijo de enrutamiento global /48, una ID de subred de 16 bits y una ID de interfaz de 64 bits.

La sección de ID de subred de 16 bits de la dirección IPv6 de unidifusión global puede ser utilizada por una organización para crear subredes internas. La ID de subred proporciona más subredes que las necesarias y admite más hosts de los que puedan llegarse a necesitar para una subred. Por ejemplo, la sección de 16 bits permite realizar lo siguiente:

- ✓ Crear hasta 65 536 subredes, combinando los 48 bits de la ID de red y los 16 bits de

la ID de subred la longitud de prefijo es /64.

- ✓ Hasta 18 trillones de direcciones IPv6 de host por subred.

La división en subredes IPv6 también es más fácil de implementar que la IPv4, ya que no se requiere la conversión al sistema binario. Para determinar la siguiente subred disponible, simplemente se suman los valores en el sistema hexadecimal.

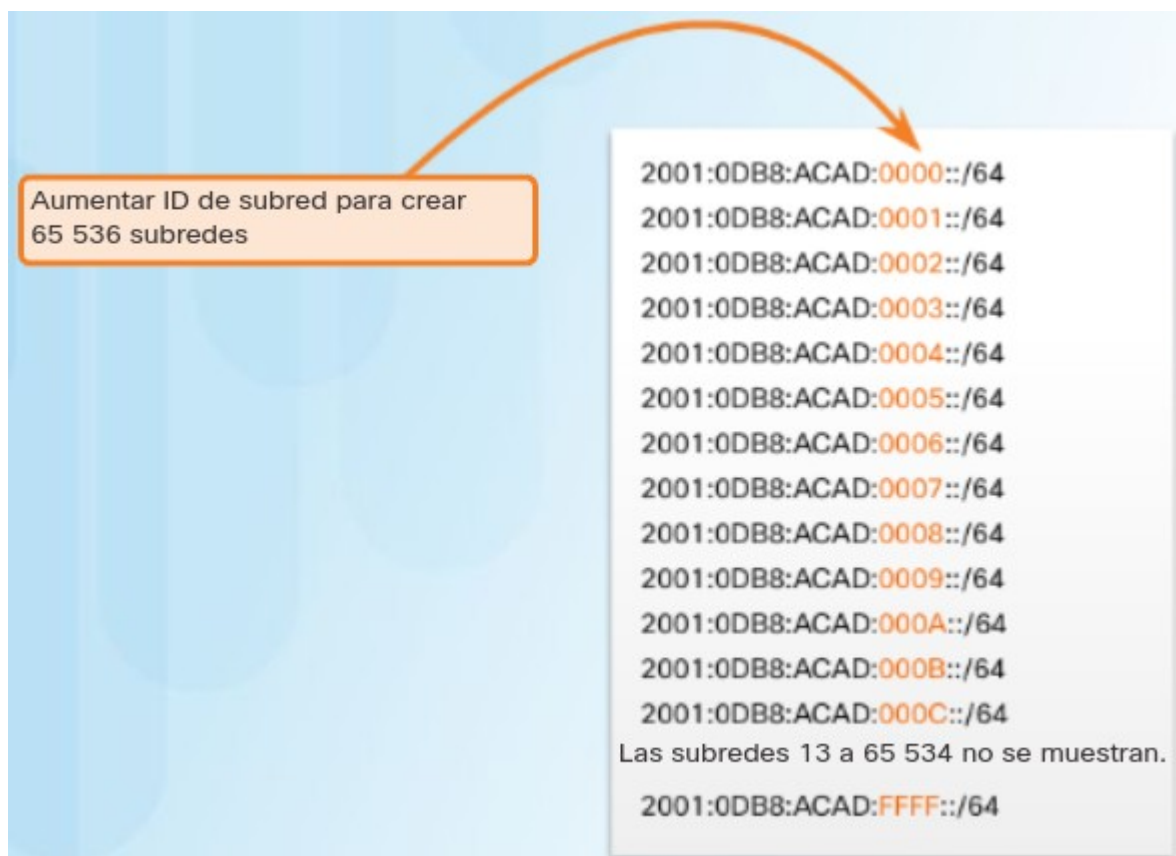


Figura 11.- División de red en subredes IPv6

Por ejemplo, supongamos que a una organización se le asignó el prefijo de enrutamiento global 2001:0DB8:ACAD::/48 con una ID de subred de 16 bits. Esto permitiría a la organización crear subredes /64, tal como se muestra en la imagen anterior. Nótese que el prefijo de enrutamiento global es igual para todas las subredes. Solo se incrementa el hexeto de la ID de subred en sistema hexadecimal para cada subred.

4 Configuración del router IPv6

En los siguientes apartados vamos a ver como se realiza la configuración de un router Cisco con el protocolo IPv6. Nos centraremos en las interfaces de red, el enrutamiento y SLAAC para configuración automática de dispositivos conectados a un router.

Damos por hecho que el lector está familiarizado con el Cisco IOS y la configuración de routers en el protocolo IPv4. Si no es así se recomienda encarecidamente que estudie primero los capítulos correspondientes a la Introducción del Cisco IOS y el protocolo IPv4

donde se ven conceptos básicos necesarios para afrontar la configuración de dispositivos.

4.1 Configurar interfaces del router

Lo primero que debemos tener presente es que un dispositivo IPv6 no tiene una dirección IPv6 única. Como mínimo debe tener una dirección de enlace local que le permitiría comunicarse con otros dispositivos en el mismo enlace (red). Además, puede tener una dirección de unidifusión global, la cual le permitiría comunicarse en Internet.

Para mostrar la configuración del direccionamiento en las interfaces del router utilizaremos la siguiente red de ejemplo.

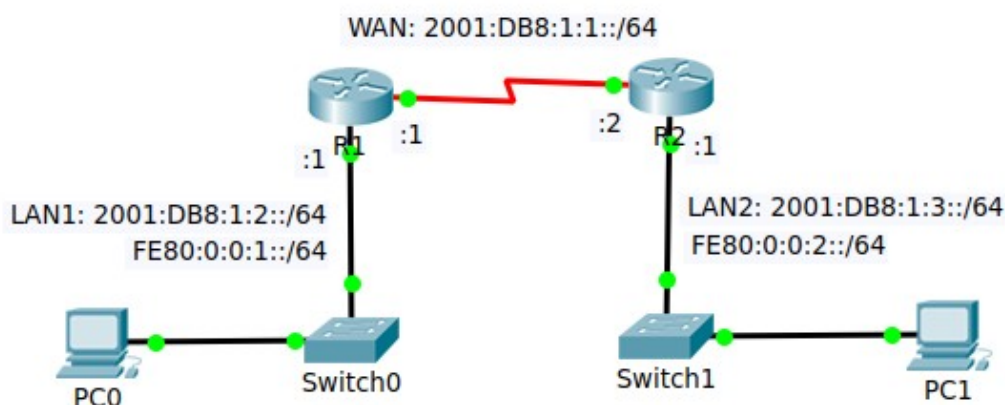


Figura 12.- Red de ejemplo direccionamiento IPv6

Como se puede apreciar en la figura anterior vamos a emplear la siguiente tabla de direccionamiento. Vamos a utilizar direcciones IPv6 del enlace 2001:DB8/32 ya que son las reservadas para documentación.

Red	Dispositivo	Dirección IP	Interfaz
LAN1	PC0	SLAAC	NIC
	R1	2001:DB8:1:2::1/64	G0/0
WAN	R1	2001:DB8:1:1::1/64	Se0/0/0
	R2	2001:DB8:1:1::2/64	Se0/0/0
LAN2	R2	2001:DB8:1:3::1/64	G0/0
	PC1	SLAAC	NIC

La configuración de las interfaces en un router Cisco es muy similar a la configuración de las interfaces con una dirección IPv4, salvo con alguna diferencia. Vamos a verlo en detalle.

4.1.1 Configuración de una dirección de unidifusión global

La mayoría de los comandos de configuración y verificación IPv6 de Cisco IOS son similares a sus equivalentes de IPv4. En la mayoría de los casos, la única diferencia es el uso

de ipv6 en lugar de ip dentro de los comandos.

El comando para configurar una dirección IPv6 de unidifusión global en una interfaz es `ipv6 address ipv6-address/prefix-length`. En nuestra red de ejemplo sería así para el router R1.

```
R1>enable
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R1(config)#interface s0/0/0
R1(config-if)#ipv6 address 2001:DB8:1:1::1/64
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
R1(config)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Serial0/0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0/0,
changed state to up

R1(config-if)#interface g0/0
R1(config-if)#ipv6 address 2001:DB8:1:2::1/64
R1(config-if)#no shutdown
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to
up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface
GigabitEthernet0/0, changed state to up

R1(config-if)#
```

Para el router R2 sería similar. Lo vemos a continuación

```
R2>enable
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R2(config)#interface s0/0/0
R2(config-if)#ipv6 address 2001:DB8:1:1::2/64
R2(config-if)#no shutdown

R2(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Serial0/0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0/0,
changed state to up

R2(config-if)#interface g0/0
R2(config-if)#ipv6 address 2001:DB8:1:3::1/64
```

```
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to
up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface
GigabitEthernet0/0, changed state to up

R2(config-if)#
```

4.1.2 Configuración de una dirección de enlace local

Los routers Cisco crean automáticamente una dirección IPv6 de enlace local cada vez que se asigna una dirección de unidifusión global a la interfaz. Una interfaz puede también generar su propia dirección IPv6 de enlace local sin tener una dirección de unidifusión global mediante el comando de configuración de interfaz **ipv6 enable**.

De manera predeterminada, los routers con Cisco IOS utilizan EUI-64 para generar la ID de interfaz para todas las direcciones de enlace local en las interfaces IPv6. Para las interfaces seriales, el router utiliza la dirección MAC de una interfaz Ethernet. Recordemos que una dirección de enlace local debe ser única solo en ese enlace o red. Sin embargo, una desventaja de utilizar direcciones de enlace local asignadas dinámicamente es su ID de interfaz larga, que dificulta identificar y recordar las direcciones asignadas.

A modo de ejemplo veamos que ha pasado al configurar la interfaz g0/0 del router R1 en el apartado anterior. Primero vamos a averiguar la dirección MAC de la interfaz.

```
R1#show interfaces GigabitEthernet 0/0
GigabitEthernet0/0 is up, line protocol is up (connected)
  Hardware is CN Gigabit Ethernet, address is 0006.2a97.9401
(bia 0006.2a97.9401)
...
```

Vemos que la dirección MAC es 0006.2a97.9401. Siguiendo el proceso EUI-64:

1. Tenemos que separar los componentes de la dirección MAC. Por un lado 02062A es el OUI y 979491 son los bytes asignados por el fabricante.
2. En medio de ambos debemos de introducir los dígitos hexadecimales FFFE quedando 02062aFFFE979401.
3. Por último hay que invertir el séptimo bit del primer byte, que en este caso es 0 = 00000000 pasa a 2 = 00000010.
4. Por tanto la id de interfaz de la dirección de enlace local es 0206:2AFF:FE97:9401.

Como las direcciones de enlace local comienza por FE80 tendríamos FE80::206:2AFF:FE97:9401. Podemos verificarlo mostrando las direcciones IPv6 de la interfaz g0/0

```
R1#show ipv6 interface g0/0
GigabitEthernet0/0 is up, line protocol is up
  IPv6 is enabled, link-local address is
FE80::206:2AFF:FE97:9401
  No Virtual link-local address(es):
  Global unicast address(es):
    2001:DB8:1:2::1, subnet is 2001:DB8:1:2::/64
...
```

Para que sea más fácil reconocer y recordar estas direcciones en los routers, es habitual configurar las direcciones IPv6 de enlace local de manera estática.

4.1.3 Configuración estática de direcciones de enlace local

Configurar la dirección de enlace local manualmente permite crear una dirección reconocible y más fácil de recordar. Por lo general, solo es necesario crear direcciones de enlace local reconocibles en los routers. Esto es útil, ya que utilizan direcciones de enlace local del router como direcciones de gateway predeterminado y en los mensajes anuncio de router (RA).

Las direcciones de enlace local pueden configurarse manualmente mediante el mismo comando de interfaz utilizado para crear las direcciones IPv6 de unidifusión globales, pero con un parámetro **link-local** adicional. Cuando una dirección comienza con este hexteto dentro del rango de FE80 a FEBF, el parámetro de **link-local** debe seguir a la dirección.

Se muestra a continuación la configuración de una dirección de enlace local con el comando de interfaz **ipv6 address**. La dirección de enlace local FE80::1 se utiliza para que sea posible reconocer fácilmente que pertenece al router R1. Se configura la misma dirección IPv6 de enlace local en todas las interfaces del R1. Se puede configurar FE80::1 en cada enlace, debido a que solamente tiene que ser única en ese enlace.

```
R1>enable
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R1(config)#interface g0/0
R1(config-if)#ipv6 address fe80::1 link-local
R1(config-if)#
```

Como se puede apreciar en el código anterior no se especifica la longitud de prefijo en la dirección de enlace local.

De manera similar al R1, el router R2 se configura con FE80::2 como la dirección IPv6 de enlace local en todas las interfaces.

```
R2>enable
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
```



```
R2(config)#interface g0/0
R2(config-if)#ipv6 address fe80::2 link-local
R2(config-if)#interface s0/0/0
R2(config-if)#ipv6 address fe80::2 link-local
R2(config-if)#
```

4.1.4 Verificar la configuración

Como se muestra en el código siguiente, el comando para verificar la configuración de la interfaz IPv6 es similar al comando que se utiliza para IPv4, salvo que en lugar de **ip** se emplea **ipv6**.

```
R1>enable
R1#show ipv6 interface brief
GigabitEthernet0/0          [up/up]
    FE80::1
    2001:DB8:1:2::1
GigabitEthernet0/1          [administratively down/down]
Serial0/0/0                 [up/up]
    FE80::1
    2001:DB8:1:1::1
Serial0/0/1                 [administratively down/down]
Vlan1                       [administratively down/down]
R1#
```

El comando **show interface** muestra la dirección MAC de las interfaces Ethernet. EUI-64 utiliza esta dirección MAC para generar la ID de interfaz para la dirección de enlace local. Además, el comando **show ipv6 interface brief** muestra el resultado abreviado para cada una de las interfaces. El resultado **[up/up]** en la misma línea que la interfaz indica el estado de interfaz de la capa 1 y la capa 2. Esto es lo mismo que las columnas **Status Estado** y **Protocol (Protocolo)** en el comando IPv4 equivalente.

```
R1#show interface
GigabitEthernet0/0 is up, line protocol is up (connected)
    Hardware is CN Gigabit Ethernet, address is 0006.2a97.9401
(bia 0006.2a97.9401)
...
```

Nótese que cada interfaz tiene dos direcciones IPv6. La segunda dirección para cada interfaz es la dirección de unidifusión global que se configuró. La primera dirección, la que comienza con FE80, es la dirección de unidifusión de enlace local para la interfaz. Recuerde que la dirección de enlace local se agrega automáticamente a la interfaz cuando se asigna una dirección de unidifusión global que se sustituye posteriormente si se configura una estáticamente.

Además, nótese que la dirección de enlace local de la interfaz Serial 0/0/0 de R1 es igual a la interfaz GigabitEthernet 0/0. Las interfaces seriales no tienen direcciones MAC de

Ethernet, por lo que Cisco IOS usa la dirección MAC de la primera interfaz Ethernet disponible. Esto es posible porque las interfaces link-local solo deben ser únicas en ese enlace. La dirección de enlace local de la interfaz de router suele ser la dirección de gateway predeterminado para los dispositivos en ese enlace o red.

Como se muestra en el siguiente código, se puede usar el comando `show ipv6 route` para verificar que las redes IPv6 y las direcciones de interfaz IPv6 específicas se hayan instalado en la tabla de enrutamiento IPv6.

```
R1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 5 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route, M - MIPv6
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS -
       ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 -
       OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
       D - EIGRP, EX - EIGRP external
C   2001:DB8:1:1::/64 [0/0]
    via Serial0/0/0, directly connected
L   2001:DB8:1:1::1/128 [0/0]
    via Serial0/0/0, receive
C   2001:DB8:1:2::/64 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, directly connected
L   2001:DB8:1:2::1/128 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, receive
L   FF00::/8 [0/0]
    via Null0, receive
R1#
```

Dentro de la tabla de rutas, una C junto a la ruta indica que es una red conectada directamente. Cuando la interfaz de router se configura con una dirección de unidifusión global y su estado es “up/up”, se agrega el prefijo y la longitud de prefijo IPv6 a la tabla de enrutamiento IPv6 como una ruta conectada.

La L indica una ruta local, la dirección IPv6 específica asignada a la interfaz. Esta no es una dirección de enlace local. Las direcciones de enlace local no están incluidas en la tabla de enrutamiento del router, ya que no son direcciones enrutables.

La dirección IPv6 de unidifusión global configurada en la interfaz también se instala en la tabla de enrutamiento como una ruta local. La ruta local tiene un prefijo /128. La tabla de enrutamiento utiliza las rutas locales para procesar eficazmente paquetes cuya dirección de destino es la dirección de interfaz del router.

El comando `ping` de IPv6 es idéntico al comando que se usa en IPv4, excepto que se usa una dirección IPv6. Como se muestra en la figura 3, el comando se utiliza para verificar la conectividad de capa 3 entre el R1 y R2. Al hacer ping de un router a una dirección de

enlace local, Cisco IOS solicita al usuario la interfaz de salida. Como la dirección de enlace local de destino puede ser uno o más de sus enlaces o redes, el router debe saber a qué interfaz enviar el comando ping.

```
R1#ping 2001:db8:1:1::2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:db8:1:1::2, timeout is 2
seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
1/2/7 ms

R1#ping FE80::2
Output Interface: Serial0/0/0
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to FE80::2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
1/2/8 ms
```

4.2 SLACC

También podemos configurar SLAAC en un router R1 para proporcionar direccionamiento a otros dispositivos de la red. La configuración es muy simple y consiste en:

1. Configurar una interfaz del router con una dirección IPv6 de unidifusión global.
2. Activar el enrutamiento en IPv6.

El primer paso ya sabemos hacerlo. Para el segundo tenemos que ejecutar el comando del modo de configuración global ipv6 **unicast-routing** como sigue.

```
R1>enable
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#ipv6 unicast-routing
R1(config)#
```

4.2.1 Configuración de IPv6 en un host

Una vez activado SLAAC los dispositivos del enlace pueden obtener una dirección IPv6 de enlace local de forma dinámica. Si configuramos PC1 para que obtenga su dirección automáticamente veremos lo siguiente.

IPv6 Configuration

☐ DHCP ☒ Auto Config ☐ Static IPv6 auto config successful.

IPv6 Address: 2001:DB8:1:2:207:ECFF:FE52:DDEC / 64

Link Local Address: FE80::207:ECFF:FE52:DDEC

IPv6 Gateway: FE80::1

IPv6 DNS Server:

Figura 13.- Configuración automática IPv6

Como se puede observar en la figura anterior el PC1 dispone de una dirección IPv6 de unidifusión global dentro del mismo enlace que la interfaz g0/0 del router R1 al que está conectado. El Id de interfaz se ha obtenido mediante EUI-64. Además de la dirección IPv6 de unidifusión global obtiene también una dirección de enlace local y la puerta de enlace predeterminada con la dirección IPv6 de la interfaz g0/0 del router R1.

Vemos que al PC1 solamente le faltaría en su configuración IPv6 una dirección de servidor DNS para poder navegar por Internet. La configuración dinámica de dispositivos mediante DHCPv6 se verá en capítulos posteriores.

4.3 Enrutamiento estático

El enrutamiento IPv6 no está habilitado de manera predeterminada. Para habilitar un router como router IPv6, se debe usar el comando de configuración global **ipv6 unicast-routing**. Para ilustrar la configuración del enrutamiento vamos a utilizar la siguiente red.

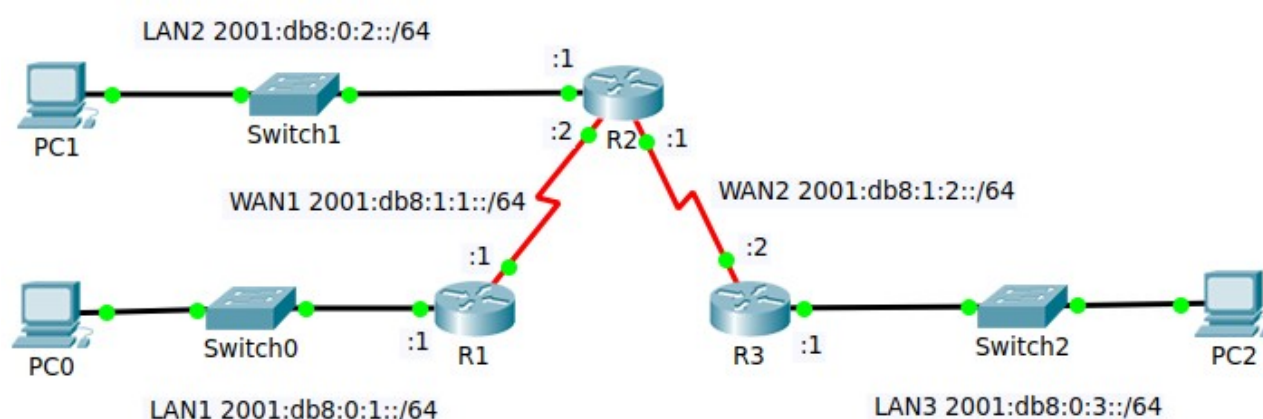


Figura 14.- Red para enrutamiento estático IPv6

Damos por hecho que las interfaces de red están activas y con direcciones IPv6 de unidifusión global de los routers están configuradas.

Las rutas estáticas para IPv6 se configuran con el comando **ipv6 route** de configuración global. La mayoría de los parámetros son idénticos a la versión IPv4 del comando. Una ruta estática IPv6 también se puede implementar como:

- ✓ Ruta estática estándar IPv6
- ✓ Ruta estática predeterminada IPv6
- ✓ Ruta estática resumida IPv6
- ✓ Ruta estática flotante IPv6

Cada router tiene entradas solo para redes conectadas directamente y sus direcciones locales asociadas. Ninguno de los routers tiene conocimiento de las redes que están fuera de las interfaces conectadas directamente.

El siguiente salto se puede identificar mediante una dirección IPv6, una interfaz de salida, o ambas. El modo en que se especifica el destino genera uno de los siguientes tres tipos de ruta:

- ✓ Ruta estática IPv6 de siguiente salto.- Solo se especifica la dirección IPv6 del siguiente salto.
- ✓ Ruta estática IPv6 conectada directamente.- Solo se especifica la interfaz de salida del router.
- ✓ Ruta estática IPv6 completamente especificada.- Se especifican la dirección IPv6 del siguiente salto y la interfaz de salida.

4.3.1 Ruta estática de siguiente salto

En una ruta estática de siguiente salto, solo se especifica la dirección IPv6 del siguiente salto. La interfaz de salida se deriva del próximo salto. Por ejemplo, vamos a configurar en R1 una ruta estática de siguiente salto para alcanzar la red 2001:DB8:0:2::/64.

```
R1>enable
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#ipv6 route 2001:db8:0:2::/64 2001:db8:1:1::2
R1(config)#
```

Podemos configurar una ruta estática de siguiente salto en R2 para alcanzar la red 2001:DB8:0:1::/64. Sería así

```
R2>enable
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R2(config)#ipv6 route 2001:db8:0:1::/64 2001:db8:1:1::1
R2(config)#
```

Una vez tenemos estas dos rutas los PCs de las redes enrutadas pueden comunicarse entre ellos. A continuación se muestra el resultado de hacer ping de PC0 a PC1. Las direcciones IPv6 de unidifusión global se han configurado automáticamente.

```

C:\>ping 2001:db8:0:2:290:cff:fea7:7304

Pinging 2001:db8:0:2:290:cff:fea7:7304 with 32 bytes of data:

Reply from 2001:DB8:0:2:290:CFF:FEA7:7304: bytes=32 time=11ms TTL=126
Reply from 2001:DB8:0:2:290:CFF:FEA7:7304: bytes=32 time=1ms TTL=126
Reply from 2001:DB8:0:2:290:CFF:FEA7:7304: bytes=32 time=1ms TTL=126
Reply from 2001:DB8:0:2:290:CFF:FEA7:7304: bytes=32 time=1ms TTL=126

Ping statistics for 2001:DB8:0:2:290:CFF:FEA7:7304:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 1ms, Maximum = 11ms, Average = 3ms

C:\>

```

Figura 15.- Ping de PC0 a PC1

Al igual que con IPv4, antes de que un router reenvíe un paquete, el proceso de la tabla de enrutamiento debe resolver la ruta para determinar qué interfaz de salida se utilizará para reenviar el paquete.

Para reenviar paquetes utilizando una dirección de siguiente salto se requieren dos procesos de búsqueda en la tabla de enrutamiento para reenviar cualquier paquete a la red. Cuando el router tiene que realizar múltiples búsquedas en la tabla de enrutamiento antes de reenviar un paquete, éste realiza un proceso que se conoce como búsqueda recurrente.

A continuación se muestra las dos búsquedas necesarias para alcanzar la red 2001:db8:0:2::/64

```

R1(config)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 8 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
        U - Per-user Static route, M - MIPv6
        I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS -
        ISIS summary
        O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 -
        OSPF ext 2
        ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
        D - EIGRP, EX - EIGRP external
C   2001:DB8:0:1::/64 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, directly connected
L   2001:DB8:0:1::1/128 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, receive
S   2001:DB8:0:2::/64 [1/0]
    via 2001:DB8:1:1::2
S   2001:DB8:0:3::/64 [1/0]
    via Serial0/0/0, directly connected

```

```
C 2001:DB8:1:1::/64 [0/0]
  via Serial0/0/0, directly connected
L 2001:DB8:1:1::1/128 [0/0]
  via Serial0/0/0, receive
S 2001:DB8:1:2::/64 [1/0]
  via Serial0/0/0, directly connected
L FF00::/8 [0/0]
```

Una ruta estática IPv6 recursiva es válida (es decir, es candidata para agregarse a la tabla de enrutamiento) solo cuando el siguiente salto especificado resuelve a una interfaz de salida válida, ya sea de forma directa o indirecta.

4.3.2 Ruta estática conectada directamente

Al configurar una ruta estática en redes punto a punto, una alternativa al uso de la dirección IPv6 de siguiente salto es especificar la interfaz de salida. Por ejemplo, vamos a configurar R1 para enviar por la interfaz s/0/0/0 los paquetes de las redes 2001:DB8:1:2::/64 y 2001:DB8:0:3::/64. Sería así

```
R1>enable
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#ipv6 route 2001:db8:1:2::/64 s0/0/0
R1(config)#ipv6 route 2001:db8:0:3::/64 s0/0/0
R1(config)#
```

La tabla de enrutamiento IPv6 para el R1 se muestra en el siguiente código. Cuando un paquete está destinado a la red 2001:DB8:1:2::/64, el R1 busca una coincidencia en la tabla de enrutamiento y encuentra que puede reenviar el paquete desde su interfaz serial 0/0/0. No se necesita ninguna otra búsqueda.

```
R1(config)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 8 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route, M - MIPv6
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS -
ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 -
OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
       D - EIGRP, EX - EIGRP external
C 2001:DB8:0:1::/64 [0/0]
  via GigabitEthernet0/0, directly connected
L 2001:DB8:0:1::1/128 [0/0]
  via GigabitEthernet0/0, receive
S 2001:DB8:0:2::/64 [1/0]
  via 2001:DB8:1:1::2
```

```
S 2001:DB8:0:3::/64 [1/0]
  via Serial0/0/0, directly connected
C 2001:DB8:1:1::/64 [0/0]
  via Serial0/0/0, directly connected
L 2001:DB8:1:1::1/128 [0/0]
  via Serial0/0/0, receive
S 2001:DB8:1:2::/64 [1/0]
  via Serial0/0/0, directly connected
L FF00::/8 [0/0]
```

La configuración de una ruta estática conectada directamente con una interfaz de salida permite que la tabla de enrutamiento resuelva esta interfaz en una única búsqueda, no en dos.

4.3.3 Ruta estática completamente especificada

Una ruta estática completamente especificada tiene determinadas tanto la interfaz de salida como la dirección IPv6 del siguiente salto. De modo similar a las rutas estáticas completamente especificadas que se utilizan con IPv4, esto se usaría si CEF no estuviera habilitado en el router y la interfaz de salida estuviera en una red multiacceso. Con CEF, una ruta estática que solo utiliza una dirección IPv6 del siguiente salto sería el método preferido incluso cuando la interfaz de salida sea una red multiacceso.

A diferencia de IPv4, hay una situación en IPv6 que se da cuando se debe utilizar una ruta estática completamente especificada. Si la ruta estática IPv6 usa una dirección IPv6 de enlace local como la dirección del siguiente salto, debe utilizarse una ruta estática completamente especificada que incluya la interfaz de salida.

La razón por la cual se debe utilizar una ruta estática completamente especificada es que las direcciones IPv6 de enlace local no están incluidas en la tabla de enrutamiento IPv6. Las direcciones link-local solo son exclusivas en una red o un enlace dados. La dirección link-local del siguiente salto puede ser una dirección válida en varias redes conectadas al router. Por lo tanto, es necesario que la interfaz de salida se incluya.

En el siguiente código, se configura una ruta estática en R3 completamente especificada con la dirección de enlace local del R2 como dirección del siguiente salto. Nótese que el IOS requiere que se especifique una interfaz de salida.

```
Router>enable
Router#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#ipv6 route 2001:db8:0:2::/64 FE80::1
% Interface has to be specified for a link-local nexthop
R3(config)#ipv6 route 2001:db8:0:2::/64 s0/0/0 FE80::1
R3(config)#
```

En el siguiente código, se muestra la entrada de la tabla de enrutamiento IPv6 para esta ruta. Nótese que la dirección de enlace local del siguiente salto y la interfaz de salida

están incluidas.

```
R3(config)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 6 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
        U - Per-user Static route, M - MIPv6
        I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS -
ISIS summary
        O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 -
OSPF ext 2
        ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
        D - EIGRP, EX - EIGRP external
S   2001:DB8:0:2::/64 [1/0]
    via FE80::1, Serial0/0/0
C   2001:DB8:0:3::/64 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, directly connected
L   2001:DB8:0:3::1/128 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, receive
C   2001:DB8:1:2::/64 [0/0]
    via Serial0/0/0, directly connected
L   2001:DB8:1:2::2/128 [0/0]
    via Serial0/0/0, receive
L   FF00::/8 [0/0]
    via Null0, receive
R3(config)#
```

4.3.4 Ruta estática predeterminada

Una ruta predeterminada es una ruta estática que coincide con todos los paquetes. En lugar de almacenar rutas para todas las redes en Internet, los routers pueden almacenar una única ruta predeterminada que represente cualquier red que no esté en la tabla de enrutamiento.

Los routers suelen utilizar rutas predeterminadas configuradas de forma local, o descubiertas por otro router, mediante un protocolo de enrutamiento dinámico. Se utilizan cuando ninguna otra ruta coincide con la dirección IP de destino del paquete en la tabla de enrutamiento. Es decir, si no existe una coincidencia más específica, entonces se utiliza la ruta predeterminada como el gateway de último recurso.

En general, las rutas estáticas predeterminadas se utilizan al conectar:

- ✓ El router perimetral de una empresa a la red de un proveedor de servicios.
- ✓ Un router con solo un router vecino ascendente. El router no tiene otros vecinos y, por lo tanto, se denomina “router de rutas internas”.

La sintaxis del comando básico de una ruta estática predeterminada es la siguiente:


```
ipv6 route ::/0 {ipv6-address | exit-intf}
```

Como se muestra, la sintaxis del comando para una ruta estática predeterminada es similar a la sintaxis del comando de cualquier otra ruta estática, excepto que el argument **ipv6-prefix/prefix-length** es **::/0** y coincide con todas las rutas.

En nuestra red de ejemplo, tanto R1 como R3 alcanzan cualquier ruta a través de su conexión punto a punto con R2. Por tanto, R1 y/o R3 pueden configurarse con tres rutas estáticas para alcanzar todas las redes remotas en la topología. Sin embargo, R1 y R2 es un router de rutas internas, ya que está conectado únicamente al R2. Por lo tanto, sería más eficaz configurar una ruta estática predeterminada IPv6. Sería así

```
R1>enable
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R1(config)#ipv6 route ::/0 2001:db8:1:1::2
R1(config)#
```

4.3.5 Verificación de las rutas estáticas

Además de los comandos **ping** y **traceroute**, el comando **show ipv6 route** es útil para comprobar las rutas. A continuación se muestra un ejemplo del resultado que genera el comando **show ipv6 route** en R1. El resultado refleja el uso de rutas estáticas con las direcciones de unidifusión global del siguiente salto.

```
R1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 9 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route, M - MIPv6
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS -
ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 -
OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
       D - EIGRP, EX - EIGRP external
S   ::/0 [1/0]
    via 2001:DB8:1:1::2
C   2001:DB8:0:1::/64 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, directly connected
L   2001:DB8:0:1::1/128 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, receive
S   2001:DB8:0:2::/64 [1/0]
    via 2001:DB8:1:1::2
S   2001:DB8:0:3::/64 [1/0]
    via Serial0/0/0, directly connected
C   2001:DB8:1:1::/64 [0/0]
    via Serial0/0/0, directly connected
```

```
L 2001:DB8:1:1::1/128 [0/0]
   via Serial0/0/0, receive
S 2001:DB8:1:2::/64 [1/0]
   via Serial0/0/0, directly connected
L FF00::/8 [0/0]
   via Null0, receive
R1#
```

A continuación se muestra un ejemplo del resultado que genera el comando `show ipv6 route 2001:DB8:0:3::`.

```
R1#show ipv6 route 2001:db8:0:3::/64
Routing entry for 2001:DB8:0:3::/64
  Known via "static", distance 1, metric 0
  Route count is 1/1, share count 0
  Routing paths:
  Routing paths:    directly connected, via Serial0/0/0
                    Last update 0.0.0.0 on Serial0/0/0, 01:22:27 ago
R1#
```

A continuación se verifica la configuración de `ipv6 route` en la configuración en ejecución.

```
...
!
ipv6 route 2001:DB8:0:2::/64 2001:DB8:1:1::2
ipv6 route 2001:DB8:1:2::/64 Serial0/0/0
ipv6 route 2001:DB8:0:3::/64 Serial0/0/0
ipv6 route ::/0 2001:DB8:1:1::2
!
...
```

4.3.6 Ruta estática flotante

Para configurar rutas estáticas flotantes IPv6 se utiliza el comando de configuración global `ipv6 route` y se especifica una distancia administrativa. Para verlo supongamos la siguiente red de ejemplo.

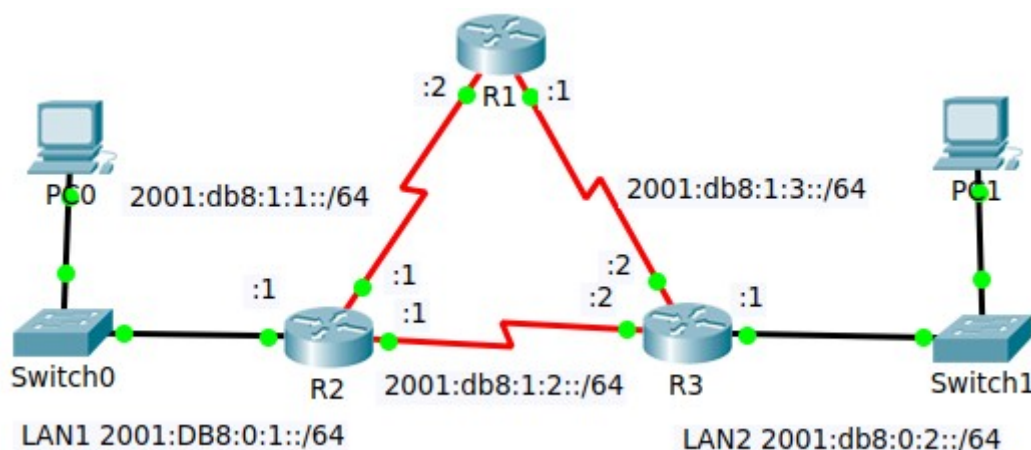


Figura 16.- Red de ejemplo ruta flotante

Damos por hecho que las interfaces y los PCs tienen sus direcciones configuradas.

En esta situación, la ruta predeterminada preferida para ir desde la red 2001:db8:0:1::/64 a la 2001:db8:0:2::/64 es desde R2 a R3. La conexión al R1 se debe utilizar solo para respaldo.

En el router R2 se crea una ruta estática para la red 2001:db8:0:2::/64 que apunte al R3. Debido a que no está configurada ninguna distancia administrativa, se utiliza el valor predeterminado (1) para esta ruta estática. El R2 también está configurado con una ruta estática flotante a la misma red que apunta al R1 con una distancia administrativa de 5. Este valor es mayor que el valor predeterminado de 1 y, por lo tanto, esta ruta flota y no está presente en la tabla de enrutamiento, a menos que falle la ruta preferida.

```
R2>enable
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R2(config)#ipv6 route 2001:db8:0:2::/64 2001:db8:1:2::2
R2(config)#ipv6 route 2001:db8:0:2::/64 2001:db8:1:1::2 5
R2(config)#
```

Si consultamos las rutas en R2 veremos que la ruta flotante no se muestra, solamente la ruta estática preferida.

```
R2(config)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 8 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route, M - MIPv6
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS -
ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 -
OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
```

```

D - EIGRP, EX - EIGRP external
C 2001:DB8:0:1::/64 [0/0]
  via GigabitEthernet0/0, directly connected
L 2001:DB8:0:1::1/128 [0/0]
  via GigabitEthernet0/0, receive
S 2001:DB8:0:2::/64 [1/0]
  via 2001:DB8:1:2::2
C 2001:DB8:1:1::/64 [0/0]
  via Serial0/0/0, directly connected
L 2001:DB8:1:1::1/128 [0/0]
  via Serial0/0/0, receive
C 2001:DB8:1:2::/64 [0/0]
  via Serial0/0/1, directly connected
L 2001:DB8:1:2::1/128 [0/0]
  via Serial0/0/1, receive
L FF00::/8 [0/0]
  via Null0, receive
R2(config)#

```

Sin embargo, si consultamos la configuración en ejecución veremos que aparecen las dos rutas.

```

...
!
ipv6 route 2001:DB8:0:2::/64 2001:DB8:1:2::2
ipv6 route 2001:DB8:0:2::/64 2001:DB8:1:1::2 5
!
...

```

En R3 podemos hacer la misma configuración para alcanzar la red 2001:db8:0:1::/64.

```

R3>enable
R3#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#ipv6 route 2001:db8:0:1::/64 2001:db8:1:2::1
R3(config)#ipv6 route 2001:db8:0:1::/64 2001:db8:1:3::1
R3(config)#

```

En una situación normal desde ambas LAN se alcanzan mutuamente por la ruta más corta. Si hay algún problema en el enlace entre R2 y R3, entonces entra en funcionamiento la ruta estática flotante. Obviamente, R1 necesita tener configuradas rutas para poder alcanzar ambas LANs.

Supongamos que hay un problema en el enlace entre R2 y R3. Por ejemplo, la interfaz s0/0/1 de R2 está apagada. Si volvemos a consultar la tabla de enrutamiento veremos que la ruta flotante aparece y entra en funcionamiento.

```
R2(config)#interface s0/0/1
R2(config-if)#shutdown

R2(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Serial0/0/1, changed state to
administratively down

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0/1,
changed state to down

R2(config-if)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 6 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route, M - MIPv6
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS -
ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 -
OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
       D - EIGRP, EX - EIGRP external
C    2001:DB8:0:1::/64 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, directly connected
L    2001:DB8:0:1::1/128 [0/0]
    via GigabitEthernet0/0, receive
S    2001:DB8:0:2::/64 [5/0]
    via 2001:DB8:1:1::2
C    2001:DB8:1:1::/64 [0/0]
    via Serial0/0/0, directly connected
L    2001:DB8:1:1::1/128 [0/0]
    via Serial0/0/0, receive
L    FF00::/8 [0/0]
    via Null0, receive
R2(config-if)#
```

Vemos en la siguiente figura la ruta seguida por PC0 para llegar a PC1

```
C:\>tracert 2001:db8:0:2:260:2fff:fee2:a725

Tracing route to 2001:db8:0:2:260:2fff:fee2:a725 over a maximum of 30 hops:

  1  1 ms    0 ms    0 ms    2001:DB8:0:1::1
  2  0 ms    1 ms    0 ms    2001:DB8:1:1::2
  3  1 ms    3 ms    1 ms    2001:DB8:1:3::2
  4  0 ms    1 ms    0 ms    2001:DB8:0:2:260:2FFF:FEE2:A725

Trace complete.

C:\>
```

Figura 17.- Ruta seguida por los paquetes para llegar de PC0 a PC1

5 Bibliografía

CISCO, *CCNA1 Introducción a las Redes – Versión 6 – NetAcad* 2017.

CISCO, *CCNA2 Principios básicos de Routing y Switching – Versión 6 – NetAcad* 2017.