

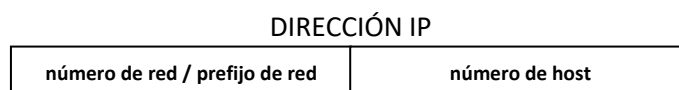
Direccionamiento IP

1.	DIRECCIONAMIENTO IP BASADO EN CLASES (CLASSFUL IP ADDRESSING)	2
1.1	Redes de clase A	3
1.2	Redes de clase B	3
1.3	Redes de clase C	3
1.4	Otras clases	3
1.5	Notación decimal con puntos (Dotted-Decimal Notation)	3
1.6	Limitaciones no previstas en el direccionamiento IP basado en clases	4
2	DIVISIÓN EN SUBREDES (SUBNETTING)	4
2.1	Prefijo de red extendido	5
2.2	Consideraciones en el diseño de subredes	6
2.3	La subred todo ceros y la subred todo unos	7
2.4	Ejemplo de división en subredes	7
3	MÁSCARAS DE SUBRED DE LONGITUD VARIABLE (VLSM)	9
3.1	El protocolo de enrutamiento RIP-1 y la máscara de subred	10
3.2	Uso eficiente del espacio de direcciones IP asignado	10
3.3	Agrupación de rutas	11
3.4	Consideraciones a tener en cuenta en el diseño VLSM	12
3.5	Requisitos para el despliegue de VLSM	12
3.6	Ejemplo VLSM	13
4	CLASSLESS INTER-DOMAIN ROUTING (CIDR)	16
4.1	Asignación eficiente del espacio de direcciones IPv4 con CIDR	17
4.2	Implicaciones del despliegue CIDR en los hosts	18
4.3	Asignación eficiente de direcciones	18
4.4	Ejemplo CIDR de asignación direcciones	19
4.5	Comparación de CIDR con VLSM	19
4.6	Control del crecimiento de las tablas de rutas de Internet	20
5	NUEVAS SOLUCIONES PARA ESCALAR EL ESPACIO DE DIRECCIONES INTERNET	20
5.1	Llamamiento para devolver los prefijos de red no utilizados	21
5.2	Asignación de direcciones para redes privadas	21
5.3	Asignación de direcciones del espacio de direcciones de Clase A reservado	21
5.4	Repercusiones de las políticas de asignación de direcciones	21
5.5	Procedures for Internet/Enterprise Renumbering (PIER)	22
5.6	Comercialización de la asignación de bloques de direcciones IP	22

1. Direccionamiento IP basado en clases (Classful IP Addressing)

Cuando el protocolo IP fue estandarizado por primera vez en septiembre de 1981, su especificación requería que cada sistema conectado a una red basada en TCP/IP tuviese asignado un valor único de 32 bits como dirección IP. Los sistemas que tengan interfaces conectados a más de una red necesitarán una dirección por cada interfaz.

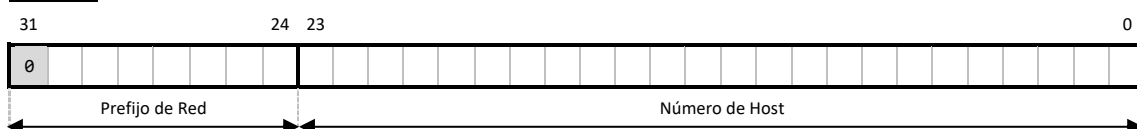
La primera parte de una dirección de IP identifica a la red en la que reside el host y recibe el nombre de **número de red** (en los últimos años, para referirse al número de red se utiliza el término **prefijo de red**, ya que es la parte que encabeza cada dirección IP), mientras que la segunda parte identifica a cada host dentro de dicha red y recibe el nombre de **número de host**. Esto crea la jerarquía de direccionamiento de dos niveles que se muestra en la figura siguiente:



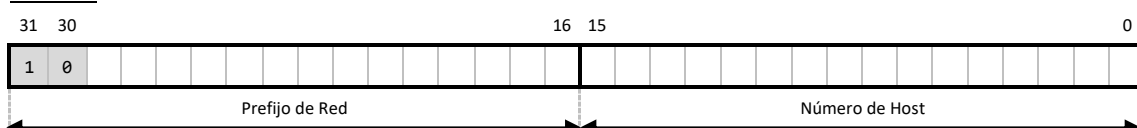
Todos los hosts en una red comparten el mismo prefijo de red, mientras que cada uno de ellos debe de tener un número de host único en su dirección IP. De forma similar, la direcciones IP de dos hosts cualesquiera que residan en redes diferentes deben de tener un prefijo de red diferente, aunque pueden compartir el mismo número de host.

Los diseñadores de Internet decidieron que el espacio de direcciones IP debía de ser dividido en tres clases fundamentales con el fin de proporcionar la flexibilidad necesaria para soportar redes de diferentes tamaños: Clase A, Clase B y Clase C. Esto se conoce habitualmente como direccionamiento basado en clases (classful addressing). La figura siguiente muestra el formato de las direcciones en cada clase:

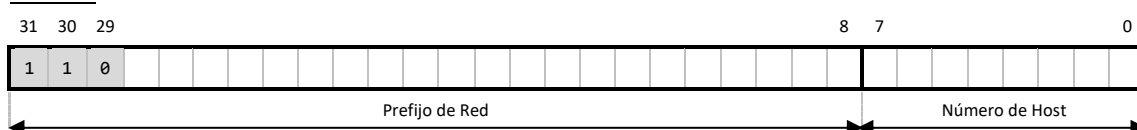
Clase A



Clase B



Clase C



Se puede observar que una de las características fundamentales del direccionamiento IP basado en clases es la codificación en cada dirección IP de una clave que identifica la clase a la que pertenece:

- Si el bit más significativo (bit 31) tiene el valor 0, la dirección es de clase A.
- Si los dos bits más significativos (bits 31 y 30) tienen el valor 10, la dirección es de clase B.
- Si los tres bits más significativos (bits 31, 30 y 29) tienen el valor 110, la dirección es de clase C.

Esto simplificó el sistema de enrutamiento en los primeros años de Internet, ya que los primeros protocolos de enrutamiento no proporcionaban una máscara con cada ruta para identificar la longitud del número de red.

1.1 Redes de clase A

Cada dirección de red de clase A utiliza 8 bits para el prefijo de red, de los cuales el más significativo tiene el valor fijo 0, quedando los siete restantes para formar los diferentes números de red. Esto se traduce en que se pueden definir un máximo de $2^7-2=126$ direcciones de red de clase A. La razón de restar 2 es que la dirección de red 0.0.0.0 se reserva para ser usada como ruta por defecto en las tablas de rutas y la dirección de red 127.0.0.0 se reserva para las direcciones de "loopback".

Cada red de clase A soporta un máximo de $2^{24}-2=16.777.214$ hosts. La razón de restar 2 es porque en el número de red todos los bits a cero identifican a la propia red y todos los bits a uno es la dirección de broadcast, y por tanto ninguna de ellas puede ser asignada como dirección de host.

Dado que la clase A contiene un total de $2^{31}=2.147.483.648$ direcciones y el espacio de direcciones IPv4 contiene $2^{32}=4.294.967.296$ direcciones, el espacio de direcciones de clase A representa el 50% del total.

1.2 Redes de clase B

Cada dirección de red de clase B utiliza 16 bits para el prefijo de red, de los cuales los dos bits más significativos tienen el valor fijo 10, quedando los catorce restantes para formar los diferentes números de red. Esto se traduce en que se pueden definir un máximo de $2^{14}=16.384$ direcciones de red de clase B, cada una de las cuales puede soportar un máximo de $2^{16}-2=65.534$ hosts.

Dado que la clase B contiene un total $2^{30}=2.147.483.648$ direcciones, esto representa el 25% del espacio de direcciones IPv4.

1.3 Redes de clase C

Cada dirección de red de clase C utiliza 24 bits para el prefijo de red, de los cuales los tres bits más significativos tienen el valor fijo 110, quedando los 21 restantes para componer los diferentes números de red. Esto se traduce en que se pueden definir un máximo de $2^{21}=2.097.152$ direcciones de red de clase C, cada una de las cuales puede soportar un máximo de $2^8-2=254$ hosts.

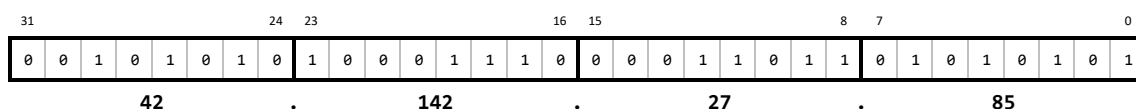
Dado que la clase C contiene un total $2^{29}=536.870.912$ direcciones, esto representa el 12,5% del espacio de direcciones IPv4.

1.4 Otras clases

Además de las clases ya mencionadas, existen otras dos clases adicionales: clase D y clase E. Las direcciones de clase D tienen el valor fijo 1110 en sus cuatro bits más significativos y se usan para multidifusión IP (IP multicasting). Las direcciones de clase E tienen el valor fijo 1111 en sus cuatro bits más significativos y se han reservado para uso experimental.

1.5 Notación decimal con puntos (Dotted-Decimal Notation)

Las direcciones IP se expresan habitualmente utilizando la notación decimal con puntos para que a las personas les resulten más fáciles de manejar. Esta notación divide los 32 bits que forman una dirección IP en cuatro campos de 8 bits, y especifica el valor de cada campo de forma independiente como un número decimal que estará comprendido entre 0 y 255. Finalmente, la dirección IP se expresará separando cada número decimal del siguiente por un punto. Ejemplo:



1.6 Limitaciones no previstas en el direccionamiento IP basado en clases

Los diseñadores originales de Internet no fueron capaces de prever el crecimiento que ha experimentado Internet hasta convertirse en lo que es hoy en día. Muchos de los problemas a los que se enfrenta Internet en la actualidad son consecuencia de las decisiones tomadas durante los primeros años de su desarrollo:

- Durante los primeros días de Internet, la sensación de disponer de un espacio de direcciones aparentemente ilimitado provocó la asignación de gran cantidad de direcciones a diferentes organizaciones, satisfaciendo así sus peticiones sin tener en cuenta sus necesidades reales. Es decir, las direcciones fueron asignadas libremente a todos aquellos que las solicitaban sin preocuparse por el posible agotamiento del espacio de direccionamiento IP.
- La decisión de estandarizar sobre un espacio de direcciones de 32 bits significa que solo estarán disponibles 2^{32} (4.294.967.296) direcciones IPv4. Si se hubiese decidido utilizar un espacio de direcciones ligeramente superior, el número de direcciones se habría incrementado de forma exponencial, eliminando de esta forma el problema actual de escasez de direcciones.
- La división en clases A, B, y C basada en fronteras de byte era fácil de entender y de aplicar, pero no promovía la asignación eficiente de un espacio de direcciones finito. Los problemas se debieron a la falta de una clase de red diseñada para soportar organizaciones de tamaño medio. Por ejemplo, una red de clase C que puede tener 254 hosts es demasiado pequeña para una organización de este tipo, mientras que una red de clase B que puede tener 65.534 hosts sería demasiado grande. En el pasado, a sitios con varios cientos de hosts les fueron asignadas direcciones de clase B cuando hubiese bastado con asignarles dos direcciones de red de clase C. Esto dio lugar a un prematuro agotamiento del espacio de direcciones de clase B. En la actualidad, las únicas direcciones de red disponibles con facilidad para organizaciones de tamaño medio son las de clase C, lo que tiene el impacto potencialmente negativo de incrementar el tamaño de la tabla de enrutamiento global de Internet.

2 División en subredes (subnetting)

En 1985 el RFC 950 definió un procedimiento estándar para llevar a cabo la división de cualquier red individual de clase A, B o C en subredes más pequeñas. Este procedimiento se creó para reducir los problemas que comenzaron a experimentar en algunas partes de Internet con la jerarquía de dos niveles del direccionamiento basado en clases:

- Las tablas de rutas de Internet comenzaban a crecer.
- Los administradores locales tenían que solicitar nuevos prefijos de red en Internet para poder instalar nuevas redes en sus organizaciones.

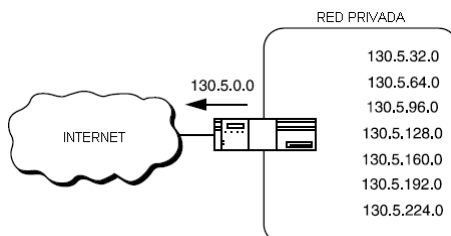
La solución para ambos problemas consistió en añadir un tercer nivel jerárquico a la estructura del direccionamiento IP. Básicamente se trataba de dividir el número de host en dos partes: *número de subred* y *número de host* dentro de cada subred:

DIRECCIÓN IP		
prefijo de red	número de subred	número de host

La división en subredes se enfrentó al problema de la expansión de la tabla de rutas asegurándose de que la estructura de una red privada nunca fuese visible fuera de su organización. La ruta desde Internet hacia cualquier host de la organización es la misma independientemente de la subred a la que pertenezca, ya que todas las subredes comparten el mismo prefijo de red. Los encargados de establecer las rutas entre las diferentes subredes son los routers de la organización privada, y por tanto, en lo que respecta a los routers de Internet todas esas subredes se agrupan en una sola entrada de su tabla de rutas. Esto permite que los administradores locales puedan aumentar de forma arbitraria la complejidad de la red privada sin afectar al tamaño de las tablas de rutas de Internet.

La cuestión del elevado número de solicitudes de nuevos prefijos de red se solucionó asignando a cada organización un prefijo de red (o unos pocos como mucho) del espacio de direcciones IPv4. A partir de aquí las organizaciones asignan libremente diferentes números de subred para cada una de sus redes internas. Esto permitió que las organizaciones desplegaran redes adicionales sin obtener de Internet un prefijo de red nuevo.

La figura siguiente muestra un sitio con varias redes lógicas que utilizan direccionamiento de subred a partir de una única dirección de red de clase B. El router acepta todo el tráfico de Internet dirigido a la red 130.5.0.0 y reenvía el tráfico a las subredes interiores basándose en el tercer byte de la dirección IP.

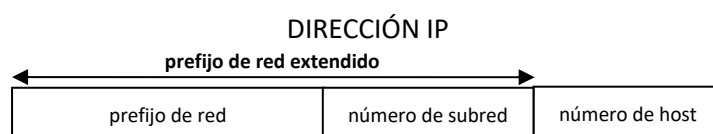


El despliegue de subredes dentro de la red privada proporciona varios beneficios:

- El tamaño de la tabla de enrutamiento global de Internet no crece porque los administradores de los sitios no necesitan obtener espacio de direcciones adicional y los anuncios de enrutamiento para todas las subredes se combinan en una única entrada de la tabla de rutas.
- Los administradores locales tienen la flexibilidad para desplegar subredes adicionales sin obtener un nuevo prefijo de red de Internet.
- El denominado “*route flapping*” (cambio rápido de las rutas) dentro de las redes privadas no afecta a la tabla de rutas de Internet ya que los routers de Internet no tienen que saber cómo llegar a las subredes, sino que sólo tienen que saber cómo llegar hasta la red en la que han sido definidas.

2.1 Prefijo de red extendido

Mientras que los routers de Internet utilizan solamente el prefijo de red de la dirección de destino para encaminar el tráfico hacia un entorno de subredes, los routers dentro del entorno de subredes usan el prefijo de red extendido para encaminar tráfico entre las subredes individuales. El prefijo de red extendido está formado por el prefijo de red y el número de subred.



El prefijo de red extendido se ha delimitado tradicionalmente por la máscara de subred. Existe una correspondencia uno a uno entre los bits de la máscara de subred y los bits de la dirección IP. A los bits en la máscara de subred se les asigna el valor 1 si el sistema que examina la dirección IP debe de tratar el bit correspondiente en dicha dirección como parte del prefijo de red extendido. A los bits en la máscara de subred se les asigna el valor 0 si el sistema debe de tratar el bit correspondiente en la dirección IP como parte del número de host.

Por ejemplo, si un administrador dispone de la dirección de red de clase B 130.5.0.0 y quiere utilizar el tercer byte completo para representar el número de subred, deberá especificar como máscara de subred 255.255.255.0.

	PREFIJO DE RED	NÚMERO DE SUBRED	NÚMERO DE HOST
	PREFIJO DE RED EXTENDIDO		
Dirección IP: 130.5.5.25	1 0 0 0 0 0 1 0 . 0 0 0 0 0 0 1 0 1 . 0 0 0 0 0 0 1 0 1 . 0 0 0 1 1 0 0 1		
Máscara de Subred: 255.255.255.0	1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 1 1 1 1 1 1 1 . 0 0 0 0 0 0 0 0		

En los estándares que describen protocolos de enrutamiento modernos se hace referencia a la longitud del prefijo de red extendido en lugar de especificar la máscara de subred. La longitud del prefijo es igual al número de bits contiguos que tienen el valor 1 en la máscara de subred tradicional. Esto significa que la dirección IP 130.5.5.25 con la máscara de subred 255.255.255.0 se puede expresar también como 130.5.5.25/24. La notación */longitud de prefijo* es más compacta y fácil de entender que la especificación de la máscara en la notación decimal con puntos tradicional.

Sin embargo, los protocolos de enrutamiento modernos todavía cargan con la máscara de subred. Ninguno de los protocolos estándar de encaminamiento de Internet define en su cabecera un campo de 1 byte que represente el número de bits en el prefijo de red extendido. Cada protocolo de enrutamiento se ve obligado a cargar con los cuatro bytes de la máscara.

2.2 Consideraciones en el diseño de subredes

El despliegue de un plan de direccionamiento requiere una cuidadosa reflexión previa. Antes de comenzar con cualquier diseño se deben de contestar cuatro preguntas clave:

1. ¿Cuántas subredes necesita la organización inicialmente?
2. ¿Cuántas subredes podrá necesitar la organización en el futuro?
3. ¿Cuántos hosts tiene la subred más grande inicialmente?
4. ¿Cuántos hosts tendrá la subred más grande en el futuro?

La respuesta a estas preguntas determinará el número de bits que se utilizarán para extender el prefijo de red, y por tanto, para numerar subredes, y el número de bits que quedarán para numerar hosts dentro de cada subred.

El primer paso consiste en tomar el máximo número de subredes necesarias y redondearlo por exceso a la potencia de dos más cercana. El exponente de dicha potencia será el número de bits que se usarán para numerar subredes. Por ejemplo, si la organización necesita nueve subredes, tendrá que redondear por exceso a la potencia de dos más cercana, que en este caso será 16, y por tanto, se utilizarán cuatro bits ($2^4=16$) que permitirán numerar hasta 16 subredes.

El administrador de red siempre debería de prever que el espacio de direccionamiento sea suficiente para el posible crecimiento de la red. Por ejemplo, aunque inicialmente sean necesarias 14 subredes, es posible que en uno o dos años no sea suficiente con el espacio de direccionamiento para las 16 subredes que se pueden numerar con cuatro bits cuando se necesite desplegar la subred número 17. En este caso habría sido más prudente utilizar cinco bits para disponer de un máximo de 32 subredes ($2^5=32$).

El segundo paso consiste en asegurarse de que hay suficientes direcciones de host para la subred más grande de la organización. Si ésta necesita soportar 50 direcciones de host inicialmente, el administrador de red tendrá que redondear hasta 64 que es la potencia de dos más cercana ($2^6=64$).

El último paso consiste en asegurarse que la dirección o direcciones de red asignadas a la organización proporcionan bits suficientes para poner en práctica el esquema de direccionamiento de subredes necesario. Por ejemplo, si la organización dispone de una única red /16, no tendría problema en asignar 4 bits para el número de subred y seis bits para el número de host. Sin embargo, si la organización dispone de varias redes /24 y necesita desplegar nueve subredes con capacidad para 50 host, tendrá que dividir tres redes /24 en cuatro subredes (utilizando dos bits) y combinarlas para construir la red.

Una solución alternativa consistiría en utilizar números de red del espacio de direcciones privado (RFC 1918) para la conectividad interna y utilizar NAT para proporcionar acceso externo hacia Internet.

2.3 La subred todo ceros y la subred todo unos

Cuando la división en subredes fue definida en el RFC 950, se prohibió el uso de la combinación de todo ceros y de todo unos en el número de subred. La razón para esta restricción era la de eliminar aquellas situaciones que pudiesen confundir a un router basado en clases (classful router).

Con respecto a la subred todo ceros, los routers requieren que cada entrada en su tabla de rutas incluya el par *ruta/longitud_prefijo* para diferenciar entre esta subred y la red completa donde reside la subred. Por ejemplo, en el caso de un router que utilice el protocolo de encaminamiento RIP-1, el cual no incluye máscara o longitud de prefijo con cada ruta, el anuncio de enrutamiento para la subred 193.1.1.0/27 y para la red 193.1.1.0/24 serían idénticos, y por tanto, no sería capaz de diferenciar entre ambas rutas.

Con respecto a la subred todo unos, los routers requieren que cada entrada en la tabla de rutas incluya la longitud del prefijo para que pueda determinar cuándo un broadcast debería ser enviado solamente a la red todo unos o a la red completa donde reside la subred.

En la actualidad un router puede ser de los dos tipos, classful y classless, al mismo tiempo.

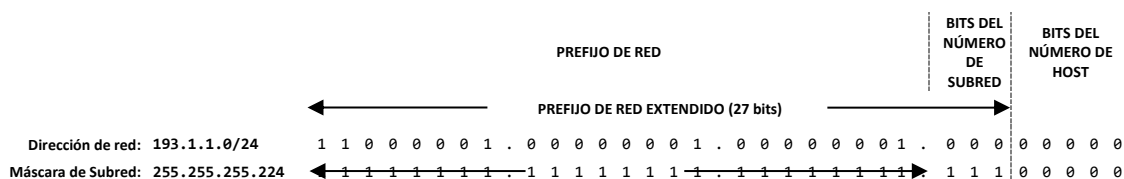
2.4 Ejemplo de división en subredes

A una organización se le asigna el prefijo de red 193.1.1.0/24 y necesita definir seis subredes teniendo en cuenta que la subred más grande necesitará soportar 25 hosts.

Definición de la máscara de subred / longitud del prefijo de red extendido:

El primer paso consiste en determinar el número de bits necesario para definir las seis subredes. Teniendo en cuenta que una dirección de red sólo puede ser dividida en subredes utilizando un número de bits determinado, las subredes tendrán que ser creadas en bloques cuyo tamaño sea potencia de dos (2^1 , 2^2 , 2^3 , 2^4 , ...). Dado que sería imposible definir un bloque de direcciones que pueda contener exactamente seis subredes, el administrador de red tendrá que definir un bloque de 2^3 (ocho subredes) y dejar las dos que no se utilizarán reservadas para un posible crecimiento futuro.

Por tanto, será necesario utilizar 3 bits para direccionar las 8 subredes del bloque, y teniendo en cuenta que en este ejemplo se está dividiendo en subredes una red /24, el prefijo de red extendido tendrá una longitud de 27 bits. Esto significa que la máscara de subred expresada en notación decimal con puntos tendría el valor 255.255.255.224.



Un prefijo de red extendido de 27 bits deja 5 bits para direccionar hosts en cada subred. Esto significa que cada subred con un prefijo de 27 bits representa un bloque contiguo de $2^5=32$ direcciones IP individuales. Teniendo en cuenta que la combinación de todo unos y de todos ceros en los bits de host no pueden ser asignadas como direcciones de host, quedarían $2^5 - 2=30$ direcciones de host asignables en cada subred.

Definición de los números de subred:

Las ocho subredes se numerarán desde 0 hasta 7, y la representación binaria de dichos números decimales será: 0 (000_2), 1 (001_2), 2 (010_2), 3 (011_2), 4 (100_2), 5 (101_2), 6 (110_2), 7 (111_2).

En general, para definir la subred N, el administrador de red coloca la representación binaria de N en el lugar que ocupan los bits correspondientes al número de subred. Por ejemplo, para definir la subred 6, el administrador de red simplemente coloca la representación binaria del número 6 (110_2) en el lugar que ocupan los tres bits correspondientes al número de subred.

A continuación, se listan los ocho números de subred de este ejemplo. La parte subrayada de cada dirección identifica el prefijo de red extendido, mientras que los dígitos en negrita identifican los tres bits que representan el número de subred:

Red Base	11000001.00000001.00000001.00000000	→	193.1.1.0/24
Subred 0	<u>11000001.00000001.00000001.00000000</u>	→	193.1.1.0/27
Subred 1	<u>11000001.00000001.00000001.00100000</u>	→	193.1.1.32/27
Subred 2	<u>11000001.00000001.00000001.01000000</u>	→	193.1.1.64/27
Subred 3	<u>11000001.00000001.00000001.01100000</u>	→	193.1.1.96/27
Subred 4	<u>11000001.00000001.00000001.10000000</u>	→	193.1.1.128/27
Subred 5	<u>11000001.00000001.00000001.10100000</u>	→	193.1.1.160/27
Subred 6	<u>11000001.00000001.00000001.11000000</u>	→	193.1.1.192/27
Subred 7	<u>11000001.00000001.00000001.11100000</u>	→	193.1.1.224/27

Una forma sencilla de comprobar que las subredes están numeradas correctamente es asegurarse para todas las subredes de que el valor del byte que contiene el número de subred es múltiplo del correspondiente a la subred 1. En este ejemplo, todas las subredes son múltiplos de 32: 0, 32, 64, etc.

Definición de las direcciones de host en cada subred:

Los bits correspondientes al número de host en la dirección IP no pueden contener la combinación de todo ceros ni la combinación de todo unos. La combinación de todo ceros solo se utiliza para especificar la dirección de la red base o la dirección de cada subred, mientras que la combinación de todo unos representa la dirección de broadcast para la red o para cada subred.

En este ejemplo, en cada dirección de subred quedan cinco bits para direccionar hosts. Esto significa que cada subred representa un bloque de 30 direcciones de host ($2^5 - 2 = 30$, donde se resta dos debido a que no se pueden utilizar la combinación de todo ceros ni la de todo unos). Los hosts en cada subred son numerados desde 1 hasta 30.

En general, para definir la dirección asignada al host N de una subred cualquiera, el administrador de red coloca la representación binaria de N en los bits correspondientes al número de host. Por ejemplo, para definir la dirección asignada al host 15 en la subred 2, el administrador simplemente coloca la representación binaria de 15 (01111_2) en los cinco bits correspondientes al número de host de la subred 2.

A continuación, se listan los rangos de direcciones de host dentro de cada subred. La parte subrayada de cada dirección identifica el prefijo de red extendido, mientras que los dígitos en negrita identifican los cinco bits que representan el número de host:

Subred 0	11000001.00000001.00000001.00000000	→	193.1.1.0/27
Host 1	<u>11000001.00000001.00000001.00000001</u>	→	193.1.1.1/27
Host 2	<u>11000001.00000001.00000001.00000010</u>	→	193.1.1.2/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>11000001.00000001.00000001.00011101</u>	→	193.1.1.29/27
Host 30	<u>11000001.00000001.00000001.00011110</u>	→	193.1.1.30/27
Subred 1	11000001.00000001.00000001.00100000	→	193.1.1.32/27
Host 1	<u>11000001.00000001.00000001.00100001</u>	→	193.1.1.33/27
Host 2	<u>11000001.00000001.00000001.00100010</u>	→	193.1.1.34/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>11000001.00000001.00000001.00111101</u>	→	193.1.1.61/27
Host 30	<u>11000001.00000001.00000001.00111110</u>	→	193.1.1.62/27
Subred 2	11000001.00000001.00000001.01000000	→	193.1.1.64/27
Host 1	<u>11000001.00000001.00000001.01000001</u>	→	193.1.1.65/27
Host 2	<u>11000001.00000001.00000001.01000010</u>	→	193.1.1.66/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>11000001.00000001.00000001.01011101</u>	→	193.1.1.93/27
Host 30	<u>11000001.00000001.00000001.01011110</u>	→	193.1.1.94/27

Subred 3	<u>11000001.00000001.00000001.01100000</u>	→	193.1.1.96/27
Host 1	<u>11000001.00000001.00000001.01100001</u>	→	193.1.1.97/27
Host 2	<u>11000001.00000001.00000001.01100010</u>	→	193.1.1.98/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>11000001.00000001.00000001.01111101</u>	→	193.1.1.125/27
Host 30	<u>11000001.00000001.00000001.01111110</u>	→	193.1.1.126/27
Subred 4	<u>11000001.00000001.00000001.10000000</u>	→	193.1.1.128/27
Host 1	<u>11000001.00000001.00000001.10000001</u>	→	193.1.1.129/27
Host 2	<u>11000001.00000001.00000001.10000010</u>	→	193.1.1.130/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>11000001.00000001.00000001.10011101</u>	→	193.1.1.157/27
Host 30	<u>11000001.00000001.00000001.10011110</u>	→	193.1.1.158/27
Subred 5	<u>11000001.00000001.00000001.10100000</u>	→	193.1.1.160/27
Host 1	<u>11000001.00000001.00000001.10100001</u>	→	193.1.1.161/27
Host 2	<u>11000001.00000001.00000001.10100010</u>	→	193.1.1.162/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>11000001.00000001.00000001.10111101</u>	→	193.1.1.189/27
Host 30	<u>11000001.00000001.00000001.10111110</u>	→	193.1.1.190/27
Subred 6	<u>11000001.00000001.00000001.11000000</u>	→	193.1.1.192/27
Host 1	<u>11000001.00000001.00000001.11000001</u>	→	193.1.1.193/27
Host 2	<u>11000001.00000001.00000001.11000010</u>	→	193.1.1.194/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>11000001.00000001.00000001.11011101</u>	→	193.1.1.221/27
Host 30	<u>11000001.00000001.00000001.11011110</u>	→	193.1.1.222/27
Subred 7	<u>11000001.00000001.00000001.11100000</u>	→	193.1.1.224/27
Host 1	<u>11000001.00000001.00000001.11100001</u>	→	193.1.1.225/27
Host 2	<u>11000001.00000001.00000001.11100010</u>	→	193.1.1.226/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>11000001.00000001.00000001.11111101</u>	→	193.1.1.253/27
Host 30	<u>11000001.00000001.00000001.11111110</u>	→	193.1.1.254/27

Definición de la dirección de broadcast para cada subred:

La dirección de broadcast de cada subred estará formada por el prefijo de red extendido seguido de la combinación de todo unos en el lugar de la dirección de host.

A continuación, se listan los rangos de direcciones de broadcast para cada subred. La parte subrayada de cada dirección identifica el prefijo de red extendido, mientras que los dígitos en negrita identifican la combinación de todo unos para obtener a la dirección de broadcast:

Subred 0:	<u>11000001.00000001.00000001.00011111</u>	→	193.1.1.31/27
Subred 1:	<u>11000001.00000001.00000001.00111111</u>	→	193.1.1.63/27
Subred 2:	<u>11000001.00000001.00000001.01011111</u>	→	193.1.1.95/27
Subred 3:	<u>11000001.00000001.00000001.01111111</u>	→	193.1.1.127/27
Subred 4:	<u>11000001.00000001.00000001.10011111</u>	→	193.1.1.159/27
Subred 5:	<u>11000001.00000001.00000001.10111111</u>	→	193.1.1.191/27
Subred 6:	<u>11000001.00000001.00000001.11011111</u>	→	193.1.1.223/27
Subred 7:	<u>11000001.00000001.00000001.11111111</u>	→	193.1.1.255/27

Se puede observar que la dirección de broadcast para la subred n es una unidad menos que la dirección de la subred n+1.

3 Máscaras de subred de longitud variable (VLSM)

En 1987, en el RFC 1009 se especificó la forma en la que una red dividida en subredes podría utilizar más de una máscara de subred. Cuando a una IP de red se le asigna más de una máscara de subred, la red es considerada como una red con VLSM (Variable Length Subnet Masks) ya que el prefijo de red extendido tendrá diferentes longitudes.

3.1 El protocolo de enrutamiento RIP-1 y la máscara de subred

Cuando se utiliza RIP-1, las máscaras de subred tienen que ser uniformes a lo largo de todo el prefijo de red. RIP-1 solamente permite la utilización de una máscara de subred con cada prefijo de red debido a que este protocolo no proporciona información de la máscara de subred como parte de los mensajes de actualización de las tablas de rutas. En ausencia de esta información, RIP-1 se ve obligado a hacer suposiciones sobre qué máscara debería de ser aplicada a cualquiera de las rutas aprendidas.

¿Cómo sabe un router basado en RIP-1 que máscara aplicar a una nueva ruta aprendida de un vecino? Si el router tiene asignado un subconjunto del mismo número de red a una interfaz local, asume que la subred de la ruta aprendida fue definida usando la misma máscara que la definida en la configuración de la interfaz local. Sin embargo, si el router no tiene asignado a una interfaz local un subconjunto del número de red de la ruta aprendida, éste supone que la red no está dividida en subredes y aplica la máscara natural basada en clases de dicha red.

Por ejemplo, supongamos que el Puerto 1 de un router tiene asignada la dirección IP 130.24.13.1/24 y que el Puerto 2 tiene asignada la dirección IP 200.14.13.2/24. Si el router aprende la ruta a la red 130.24.36.0 a través de un router vecino, aplicará la máscara /24 ya que el Puerto 1 está configurado con otra subred de la red 130.24.0.0. Sin embargo, cuando el router aprende la ruta a la red 131.25.0.0 a través de un router vecino, asume la máscara natural /16 de las redes de clase B ya que no tendrá disponible ninguna otra información acerca de la máscara.

¿Cómo sabe un router basado en RIP-1 si debe incluir los bits del número de subred en un anuncio de ruta hacia otro RIP-1 vecino? Un router que ejecuta RIP-1 incluirá los bits del número de subred en un anuncio de ruta si el puerto por el que envía el anuncio está configurado con una subred que pertenece al mismo número de red. Si no es así, el router solamente incluirá en el anuncio el número de red rellenando con ceros la parte correspondiente al número de subred.

Por ejemplo, supongamos que el Puerto 1 de un router tenga asignada la dirección IP 130.24.13.1/24 y el Puerto 2 tenga asignada la dirección IP 200.14.13.2/24. Supongamos también que este router ha aprendido la ruta a la red 130.24.36.0 de un vecino. Como el Puerto 1 está configurado con otra subred de la red 130.24.0.0, el router asume que la red 130.24.36.0 tiene una máscara de subred /24. Cuando se trata de anunciar esta ruta, el router anuncia 130.24.36.0 en el Puerto 1, pero en el Puerto 2 anuncia 130.24.0.0.

Por esta razón, RIP-1 está limitado a una única máscara de subred por cada número de red. Sin embargo, se obtendrían varias ventajas si se pudiese asignar más de una máscara de subred a una dirección IP de red dada:

- Las máscaras de subred múltiples permiten un uso más eficiente del espacio de direcciones IP asignado a una organización.
- Las máscaras de subred múltiples permiten la agrupación de rutas, lo que puede reducir significativamente la cantidad de información de enrutamiento en el nivel de backbone dentro del dominio de enrutamiento de una organización.

3.2 Uso eficiente del espacio de direcciones IP asignado

VLSM lleva a cabo un uso más eficiente del espacio de direcciones IP asignado a una organización. La limitación original de soportar una máscara de subred única sobre un prefijo de red dado estancaba a la organización dentro de un número fijo de subredes.

Por ejemplo, supongamos que un administrador de red ha configurado la red 130.5.0.0/16 con un prefijo de red extendido /22:

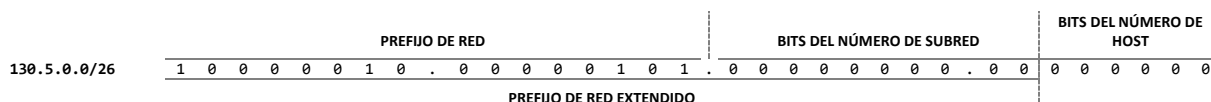
	PREFIJO DE RED	BITS DEL NÚMERO DE SUBRED	BITS DEL NÚMERO DE HOST
130.5.0.0/22	1 0 0 0 0 0 1 0 . 0 0 0 0 0 0 1 0 1 .	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 . 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

 PREFIJO DE RED EXTENDIDO

Esta red /16 con un prefijo de red extendido /22 quedará dividida en 64 subredes (2^6), cada una de las cuales soportará un máximo de 1.022 hosts ($2^{10} - 2$). Esta configuración sería adecuada si la organización quisiera desplegar grandes subredes, pero ¿qué pasaría si en un momento dado necesitase desplegar una subred con 20 o 30 hosts? Teniendo en cuenta que la división en subredes está basada en una única máscara, el administrador de red se verá obligado a asignar los 20 o 30 hosts a una subred con un prefijo de 22 bits. Esta asignación desperdiciará aproximadamente 1.000 direcciones IP de host. Por tanto, limitarse a la asociación de un número de red con una máscara única no fomenta el uso flexible y eficiente del espacio de direcciones de una organización.

La solución a este problema consiste en permitir la asignación de más de una máscara de subred a las redes divididas en subredes.

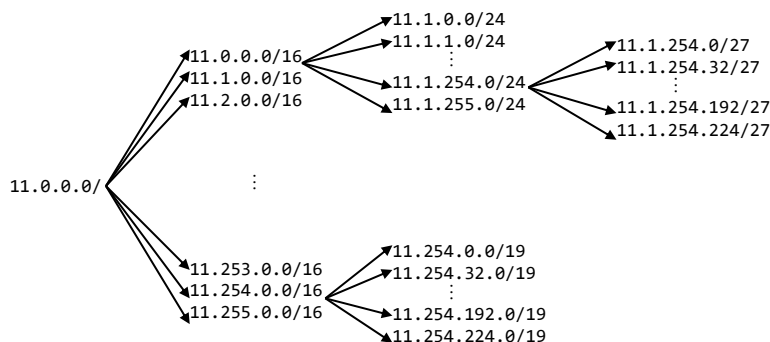
Por ejemplo, supongamos que el administrador de red puede configurar la red 130.5.0.0/16 con un prefijo de red extendido /26. Una dirección de red /16 con un prefijo de red extendido /26 permitiría 1024 (2^{10}) subredes, cada una de las cuales soportaría un máximo de 62 host ($2^6 - 2$). El prefijo /26 sería ideal para pequeñas subredes de menos de 60 hosts, mientras que el prefijo /22 sería adecuado para redes mayores que contengan hasta 1000 hosts.



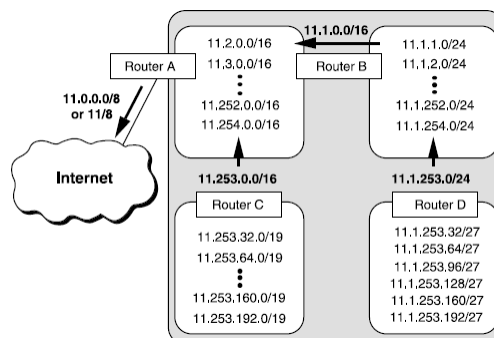
3.3 Agrupación de rutas

VLSM también permite la división recursiva del espacio de direcciones de una organización de forma que pueda ser reensamblado y agrupado para reducir la cantidad de información de enrutamiento en el nivel superior. Conceptualmente, una red es dividida en primer lugar en subredes. A continuación, algunas de las subredes se dividen en subredes más pequeñas. Esto permite que la estructura detallada de la información de enrutamiento para un grupo de subredes permanezca oculta a los routers en otro grupo de subredes.

Por ejemplo, la red 11.0.0.0/8 se configura inicialmente con un prefijo de red extendido /16. A continuación se configura la subred 11.1.0.0/16 con un prefijo de red extendido /24 y la subred 11.253.0.0/16 se configura con un prefijo de red extendido /19. Se puede observar como no es obligatorio asignar la misma longitud de prefijo de red extendido en cada nivel de recursión. Además, la subdivisión recursiva del espacio de direcciones de la organización se puede extender tanto como necesite el administrador de red como muestra la figura siguiente:



La figura siguiente muestra cómo una asignación planeada y meditada basada en VLSM puede reducir el tamaño de las tablas de rutas de una organización.



Se puede observar como el router D puede resumir las seis subredes que hay detrás de él con un solo anuncio (11.1.253.0/24) y como el router B puede agrupar todas las subredes que hay detrás de él dentro de un único anuncio (11.1.0.0/16). De la misma forma, el router C puede resumir las 6 subredes que hay detrás de él en un solo anuncio (11.253.0.0/16). Finalmente, dado que la estructura de subredes no es visible fuera de la organización, el router A inyecta una única ruta dentro de la tabla de enrutamiento global de Internet (11.0.0.0/8).

3.4 Consideraciones a tener en cuenta en el diseño VLSM

Cuando se desarrolla un diseño VLSM, el diseñador de la red debe de responder de forma recursiva a las mismas cuestiones que para un diseño de subredes tradicional.

1. ¿Cuántas subredes en total necesita este nivel en este momento?
2. ¿Cuántas subredes en total necesitará en el futuro este nivel?
3. ¿Cuántos hosts hay en la subred más grande de este nivel en este momento?
4. ¿Cuántos hosts habrá en el futuro en la subred más grande de este nivel?

En cada nivel, el equipo de diseño debe de asegurarse de que disponen de suficientes bits para soportar el número requerido de subentidades en los siguientes niveles de recursión.

Supongamos que una red se extiende a lo largo de un número de sitios. Por ejemplo, si una organización tiene en la actualidad tres campus, probablemente necesitará 3 bits para una división en subredes de la red ($2^3 = 8$) que permita la incorporación de más campus en un futuro. Más aún, es probable que dentro de cada campus haya un nivel secundario de división en subredes para identificar cada edificio. Finalmente, es probable que dentro de cada edificio haya un tercer nivel de división en subredes pueda identificar a cada uno de los grupos de trabajo de forma individual. Siguiendo este modelo jerárquico, el nivel superior está determinado por el número de campus, el nivel medio está determinado por el número de edificios en cada campus, y el nivel más bajo está determinado por el máximo número de subredes y el máximo número de usuarios en cada subred en cada edificio.

El despliegue de un esquema de división jerárquica en subredes precisa de una planificación cuidadosa. Es esencial que los diseñadores de la red descendan de forma recursiva a través de su plan de direccionamiento hasta alcanzar el nivel inferior, asegurándose de que en este nivel las subredes finales son lo suficientemente grandes para soportar el número de hosts requerido. Cuando el plan de direccionamiento es desplegado, las direcciones de cada sitio deben de poder agruparse dentro de un bloque de direcciones único que evite que las tablas de enrutamiento de backbone crezcan en exceso.

3.5 Requisitos para el despliegue de VLSM

Para el correcto despliegue de VLSM se han de cumplir tres requisitos previos:

- Los protocolos de enrutamiento han de incluir información acerca del prefijo de red extendido con cada anuncio de ruta. Algunos como OSPF y I-IS-IS permiten el despliegue de VLSM proporcionado con cada

anuncio de ruta la longitud del prefijo de red extendido o el valor de la máscara. Esto permite que cada subred sea anunciada con su correspondiente longitud de prefijo o máscara. Si los protocolos de enrutamiento no transportan información del prefijo, los routers tendrían que asumir que debería de ser aplicada la longitud de prefijo configurada localmente, o llevar a cabo una búsqueda en una tabla de prefijos configurada de forma estática que contenga toda la información necesaria acerca del enmascaramiento. La primera alternativa no puede garantizar que se aplique el prefijo correcto, y las tablas estáticas no prosperan ya que son difíciles de mantener y están sujetas al error humano.

- Todos los routers tienen que implementar un algoritmo de reenvío consistente, basado en la coincidencia más larga. El despliegue de VLSM significa que el conjunto de redes asociadas con prefijos de red extendidos pueden adoptar una relación de subconjunto. Una ruta con un prefijo de red extendido largo describe un conjunto de destinos menor que la misma ruta con un prefijo de red extendido más corto. Como resultado, una ruta con un prefijo de red extendido largo es más específica que una ruta con un prefijo de red extendido más corto. Los routers deben de utilizar la ruta con la coincidencia más larga en el prefijo de red extendido cuando reenvían tráfico.

Por ejemplo, si la dirección IP de destino de un paquete fuera 11.1.2.5 y hubiese tres prefijos de red en la tabla de enrutamiento (11.1.2.0/24, 11.1.0.0/16 y 11.0.0.0/8), el router seleccionaría 11.1.2.0/24 debido a que su prefijo tiene el mayor número de bits correspondientes con los de la mencionada dirección IP de destino, tal y como se ilustra en la figura siguiente:

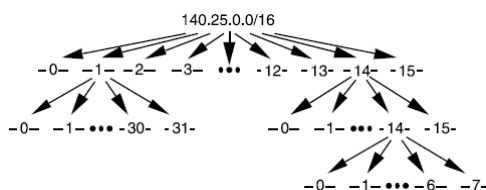
IP de destino	11.1.2.5	00001011.000000001.00000010.00000101
* Ruta nº 1	11.1.2.0	<u>00001011</u> .000000001.00000010.00000000
Ruta nº 2	11.1.0.0	<u>00001011</u> .000000001.00000000.00000000
Ruta nº 1	11.0.0.0	<u>00001011</u> .000000000.00000000.00000000

- Para poder llevar a cabo el agrupamiento de rutas, las direcciones se deben de asignar de forma que tengan significado topológico. Desde el momento en que protocolos como OSPF y I-IS-IS transportan información del prefijo de red extendido con cada ruta, las subredes VLSM pueden ser diseminadas a lo largo de la topología de una organización. Sin embargo, para soportar enrutamiento jerárquico y reducir el tamaño de las tablas de rutas de una organización, las direcciones deberían ser asignadas de tal forma que sean topológicamente significativas.

El enrutamiento jerárquico requiere que las direcciones se asignen de forma que reflejen la topología de la red. Esto reduce la cantidad de información de enrutamiento al agrupar el conjunto de direcciones asignadas a una región particular de la topología dentro de un único anuncio de enrutamiento para el conjunto completo. El enrutamiento jerárquico permite llevar a cabo esto de forma recursiva en varios puntos dentro de la jerarquía de la topología de enrutamiento. Si las direcciones no tienen significado topológico, no pueden ser agrupadas y el tamaño de las tablas de rutas no se puede reducir.

3.6 Ejemplo VLSM

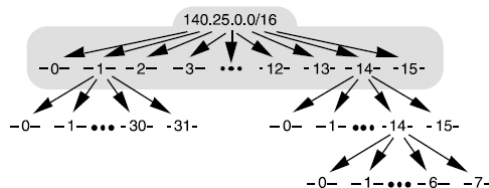
Una organización a la que se le ha asignado el número de red 140.25.0.0/16 planea desplegar VLSM. En la figura siguiente se muestra gráficamente el diseño VLSM para la organización:



El primer paso en el proceso de división en subredes divide la dirección de red base en 16 bloques de direcciones del mismo tamaño. A continuación, la Subred 1 se divide en 32 bloques de direcciones del mismo tamaño y la Subred 14 se divide en 16 bloques de direcciones del mismo tamaño. Finalmente, la Subred 14-14 se divide en ocho bloques de direcciones del mismo tamaño.

Definición de 16 subredes en la red 140.25.0.0/16

El primer paso en el proceso de división en subredes divide la dirección de red base en 16 bloques de direcciones del mismo tamaño, tal y como se señala en la figura siguiente:

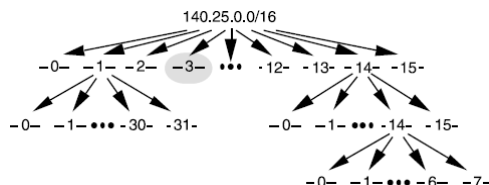


Teniendo en cuenta que $16 = 2^4$, se necesitarán cuatro bits para identificar cada una de las 16 subredes. Esto significa que la organización necesita cuatro bits más en el prefijo de red extendido /20 para definir las 16 subredes de la red 140.25.0.0/16. Cada una de esas subredes representará un bloque contiguo de 2^{12} (4096) direcciones de red.

Las 16 subredes de la red 140.25.0.0/16 se listan a continuación numeradas de 0 a 15. La parte subrayada identifica el prefijo de red extendido y los dígitos en **negrita** identifican los cuatro bits correspondientes al número de subred:

Red base	10001100.00011001.00000000.00000000	→	140.25.0.0/16
Subred 0	10001100.00011001.000 <u>00000</u> .00000000	→	140.25.0.0/20
Subred 1	10001100.00011001.000 <u>10000</u> .00000000	→	140.25.16.0/20
Subred 2	10001100.00011001.000 <u>10000</u> .00000000	→	140.25.32.0/20
Subred 3	10001100.00011001.000 <u>11000</u> .00000000	→	140.25.48.0/20
Subred 4	10001100.00011001.000 <u>11000</u> .00000000	→	140.25.64.0/20
⋮	⋮		⋮
Subred 13	10001100.00011001.110 <u>10000</u> .00000000	→	140.25.208.0/20
Subred 14	10001100.00011001.110 <u>10000</u> .00000000	→	140.25.224.0/20
Subred 15	10001100.00011001.110 <u>10000</u> .00000000	→	140.25.240.0/20

A continuación se muestran las direcciones de host que se pueden asignar dentro de, por ejemplo, la Subred 3 (140.25.48.0/20):



Teniendo en cuenta que el número de host en la Subred 3 se representa con 12 bits, hay 4.094 direcciones de host válidas en este bloque de direcciones y, por tanto, los hosts se numerarán desde 1 hasta 4094. A continuación se muestra el rango de direcciones, cada una de ellas con el prefijo de red extendido subrayado y los dígitos correspondientes al número de host en **negrita**:

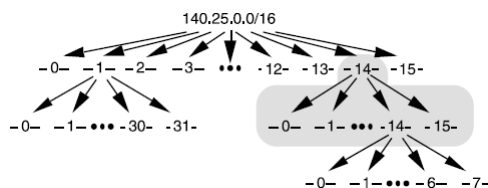
Subred 3	10001100.00011001.000 <u>11000</u> .00000000	→	140.25.48.0/20
Host 1	10001100.00011001.000 <u>11000</u> .0000000 <u>1</u>	→	140.25.48.1/20
Host 2	10001100.00011001.000 <u>11000</u> .0000000 <u>10</u>	→	140.25.48.2/20
Host 3	10001100.00011001.000 <u>11000</u> .0000000 <u>11</u>	→	140.25.48.3/20
⋮	⋮		⋮
Host 4093	10001100.00011001.000 <u>11111</u> .11111101	→	140.25.63.253/20
Host 4094	10001100.00011001.000 <u>11111</u> .11111110	→	140.25.63.254/20

La dirección de broadcast para la Subred 3 contiene la combinación de todo unos en la parte del número de host:

10001100.00011001.00011111.11111111 → 140.25.63.255

Definición de las subredes de la Subred 14 (140.25.224.0/20)

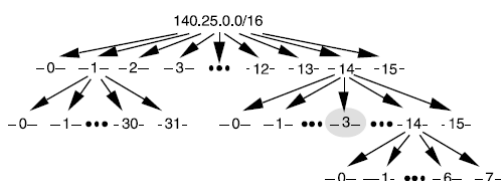
Después de dividir la dirección de red base en 16 subredes, la Subred 14 se divide en 16 bloques de direcciones del mismo tamaño, tal y como se ilustra en la figura siguiente:



Teniendo en cuenta que $16 = 2^4$, se necesitarán cuatro bits más para identificar cada una de las 16 subredes. Esto significa que la organización necesitará usar un prefijo de red extendido de 24 bits (/24). Las 16 subredes de la subred 140.25.224.0 se listan a continuación numeradas desde 0 hasta 15, con el prefijo de red extendido subrayado y los cuatro bits que representan el número de subred dentro de la subred en negrita:

Subred 14	<u>10001100.00011001.11100000.00000000</u>	→	140.25.224.0/20
Subred 14-0	<u>10001100.00011001.11100000.00000000</u>	→	140.25.224.0/24
Subred 14-1	<u>10001100.00011001.11100001.00000000</u>	→	140.25.225.0/24
Subred 14-2	<u>10001100.00011001.11100010.00000000</u>	→	140.25.226.0/24
Subred 14-3	<u>10001100.00011001.11100011.00000000</u>	→	140.25.227.0/24
Subred 14-4	<u>10001100.00011001.11100100.00000000</u>	→	140.25.228.0/24
⋮	⋮		⋮
Subred 14-14	<u>10001100.00011001.11101110.00000000</u>	→	140.25.238.0/24
Subred 14-15	<u>10001100.00011001.11101111.00000000</u>	→	140.25.239.0/24

A continuación se muestran las direcciones de host que se pueden asignar dentro de, por ejemplo, la Subred 14-3 (140.25.227.0/24):



Cada una de las subredes de la subred 14 utiliza ocho bits para el número de host. Esto significa que cada subred representa un bloque de 254 direcciones de host válidas (2^8-2), que van de 1 a 254. Las direcciones de host válidas para la Subred 14-3 se listan a continuación, con el prefijo de red extendido subrayado y los bits que identifican el número de host en negrita:

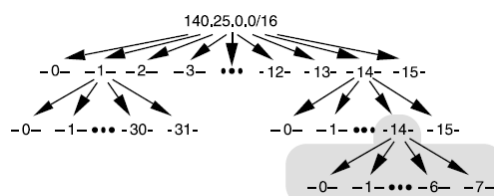
Subnet 14-3	<u>10001100.00011001.11100011.00000000</u>	→	140.25.227.0/24
Host 1	<u>10001100.00011001.11100011.00000001</u>	→	140.25.227.1/24
Host 2	<u>10001100.00011001.11100011.00000010</u>	→	140.25.227.2/24
Host 3	<u>10001100.00011001.11100011.00000011</u>	→	140.25.227.3/24
Host 4	<u>10001100.00011001.11100011.00000100</u>	→	140.25.227.4/24
Host 5	<u>10001100.00011001.11100011.00000101</u>	→	140.25.227.5/24
⋮	⋮		⋮
Host 253	<u>10001100.00011001.11100011.11111101</u>	→	140.25.227.253/24
Host 254	<u>10001100.00011001.11100011.11111110</u>	→	140.25.227.254/24

La dirección de broadcast para la Subred 14-3 contiene la combinación de todo unos en la parte del número de host:

10001100.00011001.11100011.11111111 → 140.25.227.255

Definiendo subredes de la subred 14-14 (140.25.238.0/24)

Después de dividir la Subred 14 en 16 subredes, la Subred 14-14 se subdivide en ocho bloques de direcciones del mismo tamaño, tal y como se muestra en la figura siguiente:



Teniendo en cuenta que $8 = 2^3$, se necesitarán tres bits para identificar cada una de las ocho subredes. Esto significa que la organización utilizará un prefijo de red extendido con una longitud de 27 bits (/27).

Las direcciones de las ocho subredes de la subred 140.25.238.0/24 se listan a continuación numeradas de 0 a 7. La parte subrayada identifica el prefijo de red extendido, mientras que los dígitos en negrita identifican los tres bits que representan el número de subred:

Subred 14-14	<u>10001100.00011001.11101110</u> .00000000	→	140.25.238.0/24
Subred 14-14-0	<u>10001100.00011001.11101110</u> .00000000	→	140.25.238.0/27
Subred 14-14-1	<u>10001100.00011001.11101110</u> .00100000	→	140.25.238.32/27
Subred 14-14-2	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01000000	→	140.25.238.64/27
Subred 14-14-3	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01100000	→	140.25.238.96/27
Subred 14-14-4	<u>10001100.00011001.11101110</u> .10000000	→	140.25.238.128/27
Subred 14-14-5	<u>10001100.00011001.11101110</u> .10100000	→	140.25.238.160/27
Subred 14-14-6	<u>10001100.00011001.11101110</u> .11000000	→	140.25.238.192/27
Subred 14-14-7	<u>10001100.00011001.11101110</u> .11100000	→	140.25.238.224/27

A continuación se muestran las direcciones de host que se pueden asignar dentro de, por ejemplo, la Subred 14-14-2 (140.25.238.64/27). Cada una de las subredes de la Subred 14-14 dispone de cinco bits para el número de host. Esto significa que cada subred representa un bloque de 30 direcciones de host válidas ($2^5 - 2$), que van de la 1 hasta la 30. Las direcciones de host válidas para la Subred 14-14-2 se listan a continuación con el prefijo de red extendido subrayado y la parte que identifica el número de host en negrita:

Subred 14-14-2	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01000000	→	140.25.238.64/27
Host 1	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01000001	→	140.25.238.65/27
Host 2	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01000010	→	140.25.238.66/27
Host 3	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01000011	→	140.25.238.67/27
Host 4	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01000100	→	140.25.238.68/27
Host 5	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01000101	→	140.25.238.69/27
⋮	⋮		⋮
Host 29	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01011101	→	140.25.238.93/27
Host 30	<u>10001100.00011001.11101110</u> .01011110	→	140.25.238.94/27

La dirección de broadcast para la Subred 14-3 contiene la combinación de todo unos en la parte del número de host:

10001100.00011001.11101110.01011111 → 140.25.238.95

4 Classless Inter-Domain Routing (CIDR)

En 1992, el crecimiento exponencial de Internet creó entre los miembros del IETF serias preocupaciones acerca de la escalabilidad del sistema de encaminamiento de Internet y de su capacidad para soportar un mayor crecimiento en el futuro. Estos problemas estaban relacionados con:

- El agotamiento a corto plazo del espacio de direcciones de red de clase B.
- El crecimiento rápido del tamaño de las tablas de encaminamiento globales de Internet.
- El agotamiento eventual del espacio de direcciones de 32 bits IPv4.

A medida que Internet continuaba creciendo, los dos primeros problemas enumerados se volvían críticos y la respuesta a estos desafíos inmediatos fue el desarrollo de Classless Inter-Domain Routing (CIDR). El

tercer problema, de naturaleza menos apremiante, está siendo analizado actualmente por el grupo de trabajo IP Next Generation (IPng o IPv6) del IETF.

CIDR fue documentado oficialmente en septiembre de 1993 en los RFC 1517, 1518, 1519 y 1520, y soporta dos características importantes que benefician al sistema de enrutamiento global de Internet:

- Elimina el concepto tradicional de direcciones de red de clase A, B y C.
- Soporta la agregación de rutas, que permite que una única entrada en la tabla de rutas pueda representar el espacio de direcciones correspondiente a miles de rutas tradicionales basadas en clases. Esto permite que esa única entrada de la tabla de rutas especifique como encaminar tráfico hacia varias direcciones de red individuales. La agregación de rutas ayuda a controlar la cantidad de información de enrutamiento en los routers del backbone de Internet, reduce el denominado “route flapping” (cambios rápidos en la disponibilidad de las rutas) y facilita la tediosa labor administrativa de actualizar localmente la información de enrutamiento externa.

Sin el rápido desarrollo de CIDR en 1994 y 1995, las tablas de rutas de Internet tendrían un exceso de alrededor de 70.000 rutas basadas en clases e Internet probablemente no estaría funcionando actualmente.

4.1 Asignación eficiente del espacio de direcciones IPv4 con CIDR

CIDR suprime el concepto tradicional de direcciones de red de clase A, B y C sustituyéndolo por el concepto general de prefijo de red. Los routers utilizan el prefijo de red, en lugar de los tres primeros bits de la dirección IP, para determinar la división entre número de red y número de host. Como resultado, CIDR soporta el despliegue de redes de tamaño arbitrario en lugar de los números de red estándar de 8, 16 y 24 bits asociados con el direccionamiento basado en clases. En el modelo CIDR, cada pieza de información de enrutamiento se anuncia con una máscara de bits (o con una longitud de prefijo). La longitud de prefijo es una forma de especificar el número de bits contiguos más a la izquierda que identifican el número de red de cada entrada de la tabla de rutas. Por ejemplo, una red con 20 bits de número de red y 12 bits de número de host, sería anunciada con una longitud de prefijo de 20 bits (/20). La dirección IP anunciada con el prefijo /20 podría ser una antigua dirección de clase A, B o C. Los routers que soportan CIDR no hacen suposiciones basadas en los tres primeros bits de la dirección, sino que se basan en la longitud de prefijo proporcionada con la ruta.

En un entorno que no esté basado en clases, los prefijos son considerados a nivel de bit como bloques contiguos del espacio de direcciones IP. Por ejemplo, todos los prefijos /20 representan un espacio de direcciones del mismo tamaño ($2^{12} = 4096$ direcciones de host). Además, un prefijo /20 puede ser asignado a un número de red de clase A, B o C tradicional. A continuación se muestra como cada uno de los siguientes bloques /20 representan 4.096 direcciones de host 10.23.64.0/20, 130.5.0.0/20 y 200.7.128.0/20:

Tradicionalmente de Clase A	10.23.64.0/20	<u>00001010</u> <u>00010111</u> 01000000 00000000
Tradicionalmente de Clase B	130.5.0.0/20	<u>10000010</u> <u>00000101</u> 00000000 00000000
Tradicionalmente de Clase C	200.7.128.0/20	<u>11001000</u> <u>00000111</u> <u>10000000</u> 00000000

La tabla siguiente proporciona información acerca de los bloques de direcciones CIDR desplegados con más frecuencia. Muestra que, por ejemplo, una asignación /15 puede ser especificada también utilizando la notación decimal con puntos tradicional 255.254.0.0. Además, una asignación /15 contiene un bloque contiguo a nivel de bit de 128K (131.072) direcciones IP que pueden ser interpretadas como dos redes de clase B o 512 redes de clase C:

Longitud del prefijo CIDR	Notación decimal con puntos	Nº de direcciones individuales	Nº de redes basadas en clases
/13	255.248.0.0	512 K	8 de clase B ó 2.048 de clase C
/14	255.252.0.0	256 K	4 de clase B ó 1.024 de clase C

/15	255.254.0.0	128 K	2 de clase B ó 512 de clase C
/16	255.255.0.0	65.536	1 de clase B ó 256 de clase C
/17	255.255.128.0	32.768	128 de clase C
/18	255.255.192.0	16.384	64 de clase C
/19	255.255.224.0	8.192	32 de clase C
/20	255.255.240.0	4.096	16 de clase C
/21	255.255.248.0	2.048	8 de clase C
/22	255.255.252.0	1.024	4 de clase C
/23	255.255.254.0	512	2 de clase C
/24	255.255.255.0	256	1 de clase C
/25	255.255.255.128	128	1/2 de clase C
/26	255.255.255.192	64	1/4 de clase C
/27	255.255.255.224	32	1/8 de clase C

4.2 Implicaciones del despliegue CIDR en los hosts

Puede haber implicaciones severas en los hosts cuando se despliegan redes basadas en CIDR. Teniendo en cuenta que muchos hosts son basados en clases, sus interfaces de usuario no permitirán su configuración con una máscara más corta que la máscara natural para una dirección basada en clases tradicional.

Por ejemplo, para desplegar la red $200.25.16.0/20$ capaz de soportar 4.094 hosts ($2^{12} - 2$), hay que asegurarse de que el software que se ejecuta en cada estación permitirá que una dirección perteneciente a esta red, que tradicionalmente sería de clase C, se pueda configurar con una máscara de 20 bits puestos a uno teniendo en cuenta que la máscara natural para las redes de clase C es de 24 bits puestos a uno. Se podrán configurar máscaras más cortas si el software del host soporta CIDR.

No habrá problemas al desplegar la asignación $200.25.16.0/20$ (tradicionalmente una clase C) como un bloque de 16 redes /24 puesto que los host que no soportan CIDR interpretarán su dirección local /24 como una de clase C. Asimismo, la asignación $130.14.0.0/16$ (tradicionalmente una clase B) podría desplegarse como un bloque de 255 redes /24 puesto que los hosts las interpretarán como subredes de una red /16. Si el software de host soporta la configuración de máscaras más cortas que las previstas, el administrador de red tendrá una flexibilidad enorme en el diseño de red y asignación de direcciones.

4.3 Asignación eficiente de direcciones

¿Cómo nos conduce CIDR hacia una asignación eficiente del espacio de direcciones IPv4? En un entorno basado en clases, un Proveedor de Servicios de Internet (ISP) solamente puede asignar direcciones /8, /16 o /24. En un entorno CIDR, el ISP puede extraer de su espacio de direcciones registrado bloques de forma que se resuelvan específicamente las necesidades de cada cliente, proporcionando espacio adicional para el crecimiento y sin desperdiciar un recurso escaso.

Supongamos que a un ISP se le ha asignado el bloque de direcciones $206.0.64.0/18$. Este bloque representa 16.384 (2^{14}) direcciones IP, que puede ser interpretado como 64 bloques /24. Si un cliente necesita 800 direcciones de host, en lugar de asignarle una dirección de red de clase B (desperdiciando aproximadamente 64.700 direcciones) o cuatro direcciones de red individuales de clase C (introduciendo 4 nuevas rutas en las tablas de rutas globales de Internet), el ISP podría asignar al cliente el bloque de direcciones $206.0.68.0/22$, que es un bloque de 1.024 (2^{10}) direcciones IP (cuatro bloques /24 contiguos). La eficiencia de esta asignación se muestra a continuación:

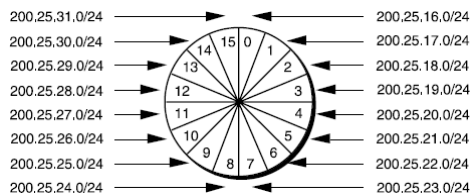
Bloque del ISP	<u>11001110 00000000 01000000 00000000</u>	206.0.64.0/18
Bloque del cliente	<u>11001110 00000000 01000100 00000000</u>	206.0.68.0/22
Red 1 de clase C	<u>11001110 00000000 01000100</u> 00000000	206.0.68.0/24
Red 2 de clase C	<u>11001110 00000000 01000101</u> 00000000	206.0.69.0/24
Red 3 de clase C	<u>11001110 00000000 01000110</u> 00000000	206.0.70.0/24
Red 4 de clase C	<u>11001110 00000000 01000111</u> 00000000	206.0.71.0/24

4.4 Ejemplo CIDR de asignación direcciones

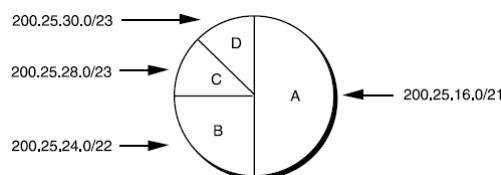
Supongamos que un ISP posee del bloque de direcciones $200.25.0.0/16$ que representa 65.536 (2^{16}) direcciones IP (ó 256 redes /24), y que quiere asignar el bloque de direcciones $200.25.16.0/20$ más pequeño, el cual representa 4.096 (2^{12}) direcciones IP (ó 16 redes /24).

Bloque de direcciones 11001000 00011001 00010000 00000000 $200.25.16.0/20$

En un entorno basado en clases, el ISP se vería obligado a usar el bloque /20 como 16 bloques /24 individuales:



Sin embargo, en un entorno sin clases, el ISP es libre de dividir el bloque de la forma que desee. Podría dividir el bloque original en dos mitades y asignar una de ellas a la Organización A. Después podría cortar la otra mitad en dos mitades (cada una sería $\frac{1}{4}$ del espacio de direcciones), asignar uno de los cuartos a la Organización B y el cuarto sobrante dividirlo en dos mitades (cada una sería $\frac{1}{8}$ del espacio de direcciones), asignando cada una de ellas a la Organización C y a la Organización D. Cada una de las organizaciones será libre de asignar su espacio de direcciones dentro de su Intranet como desee:



Los pasos siguientes explican como asignar direcciones con CIDR:

Paso 1 Dividir el bloque de direcciones $200.25.16.0/20$ en dos partes de igual tamaño. Cada parte representa la mitad del espacio de direcciones, es decir, 2.048 (2^{11}) direcciones IP. Asignar la primera parte a la Organización A y reservar la segunda parte.

Bloque del ISP	<u>11001000 00011001 00010000 00000000</u>	$200.25.16.0/20$
Organización A	<u>11001000 00011001 00010000 00000000</u>	$200.25.16.0/21$
Bloque reservado	<u>11001000 00011001 00011000 00000000</u>	$200.25.24.0/21$

Paso 2 Dividir el bloque de direcciones reservado $200.25.24.0/21$ en dos partes de igual tamaño. Cada parte representa $\frac{1}{4}$ del espacio de direcciones, es decir, 1.024 (2^{10}) direcciones IP. Asignar la primera parte a la Organización B y reservar la segunda parte.

Bloque reservado	<u>11001000 00011001 00011000 00000000</u>	$200.25.24.0/21$
Organización B	<u>11001000 00011001 00011000 00000000</u>	$200.25.24.0/22$
Bloque reservado	<u>11001000 00011001 00011100 00000000</u>	$200.25.28.0/22$

Paso 3 Dividir el bloque de direcciones reservado $200.25.28.0/22$ en dos partes de igual tamaño. Cada parte representa $\frac{1}{8}$ del espacio de direcciones, es decir, 512 (2^9) direcciones IP. Asignar la primera parte a la Organización C y la segunda a la Organización D.

Bloque reservado	<u>11001000 00011001 00011100 00000000</u>	$200.25.28.0/22$
Organización C	<u>11001000 00011001 00011100 00000000</u>	$200.25.28.0/23$
Organización D	<u>11001000 00011001 00011110 00000000</u>	$200.25.30.0/23$

4.5 Comparación de CIDR con VLSM

Tanto CIDR como VLSM permiten dividir de forma recursiva una porción del espacio de direcciones IP en trozos más pequeños. La diferencia está en que con VLSM la recursión se lleva a cabo sobre el espacio de

direcciones previamente asignado a una organización y es invisible para Internet, mientras que CIDR permite la asignación recursiva de un bloque de direcciones por parte de un Registro de Internet a un ISP de alto nivel, a un ISP de nivel medio, a un ISP de bajo nivel o a la red de una organización privada.

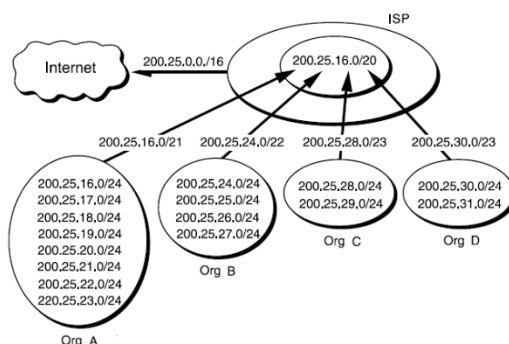
Al igual que ocurre con VLSM, el despliegue satisfactorio de CIDR requiere que se cumplan tres requisitos previos:

- Los protocolos de enrutamiento deben incluir información del prefijo de red en cada anuncio de ruta.
- Todos los routers deben implementar un algoritmo de reenvío consistente basado en la coincidencia más larga.
- Para que pueda llevarse a cabo la agrupación de rutas, las direcciones deben de asignarse de forma que sean topológicamente significativas.

4.6 Control del crecimiento de las tablas de rutas de Internet

CIDR ayuda a controlar el crecimiento de las tablas de rutas de Internet reduciendo la cantidad de información de enrutamiento. Este proceso requiere que Internet se divida en dominios de direccionamiento. Dentro de cada dominio habrá información disponible acerca de todas las redes que residen en él. Fuera del dominio de direccionamiento, solamente se anunciará el prefijo de red común a todas las redes que pertenecen a dicho dominio. Esto permite especificar la ruta hacia varias direcciones de red individuales mediante una única entrada de tabla de rutas.

Suponiendo que la porción $200.25.16.0/20$ del bloque de direcciones del ISP $200.25.0.0/16$ haya sido asignada como se describe en el ejemplo previo, la figura siguiente ilustra como dicha asignación CIDR ayuda a reducir el tamaño de las tablas de rutas de Internet:



- La Organización A agrupa ocho bloques $/24$ en un único anuncio ($200.25.16.0/21$).
- La Organización B agrupa cuatro bloques $/24$ en un único anuncio ($200.25.24.0/22$).
- La Organización C agrupa dos bloques $/24$ en un único anuncio ($200.25.28.0/23$).
- La Organización D agrupa dos bloques $/24$ en un único anuncio ($200.25.30.0/23$).

Finalmente, el ISP puede inyectar en la Internet los 256 bloques $/24$ de su asignación con un único anuncio ($200.25.0.0/16$).

Hay que observar que la agrupación de rutas por medio de BGP-4 (el protocolo que permite agrupación CIDR) no es automática. Los ingenieros de red deben de configurar cada router para llevar a cabo la agrupación requerida. El despliegue con éxito de CIDR permite expandir el número de redes individuales en Internet minimizando el número de rutas en su tabla de rutas.

5 Nuevas soluciones para escalar el espacio de direcciones Internet

Con la entrada del siglo XXI, los problemas de escasez de direcciones IPv4 y la expansión de las tablas de rutas de Internet aún permanecen. Aunque CIDR ya está en funcionamiento, las tendencias recientes de

crecimiento indican que el número de rutas Internet esta creciendo de forma exponencial. Internet tendrá que encontrar una forma de mantener un crecimiento lineal de la tabla de rutas. El IETF continúa con sus esfuerzos para desarrollar soluciones que superen estos problemas, permitiendo el crecimiento y la escalabilidad de forma continuada en Internet.

5.1 Llamamiento para devolver los prefijos de red no utilizados

El RFC 1917 solicitó a la comunidad de Internet la devolución de los bloques de direcciones que no se utilizan a la [IANA \(Internet Assigned Numbers Authority\)](#) para su redistribución. Esto incluye números de red sin utilizar, direcciones para redes que nunca se conectaran a Internet por razones de seguridad y sitios que utilizan un porcentaje reducido de su espacio de direcciones. El RFC 1917 también pide a los ISPs que devuelvan los prefijos de red sin utilizar que están fuera de los bloques de direcciones que han asignado.

5.2 Asignación de direcciones para redes privadas

El RFC 1918 solicitó que las organizaciones utilicen el espacio de direcciones Internet privado para hosts que requieran conectividad IP dentro de su red corporativa, pero no requieran conexiones externas hacia Internet.

IANA ha reservado los tres bloques de direcciones siguientes para redes privadas:

- 10.0.0.0/8
- 172.16.0.0/12
- 192.168.0.0/16

Cualquier organización que elija usar direcciones de estos bloques reservados puede hacerlo sin contactar con IANA ni con ningún registro de Internet. Puesto que estas direcciones nunca son inyectadas dentro del sistema de enrutamiento de Internet, este espacio de direcciones lo pueden utilizar de forma simultánea varias organizaciones diferentes.

La desventaja de este esquema de direccionamiento reside en que requiere de la utilización de NAT (Network Address Translator) para el acceso a Internet. Sin embargo, la utilización del espacio de direcciones privado y NAT facilita a los clientes el cambio de ISP sin volver a numerar o sin dejar huecos en un anuncio previamente agrupado.

Un beneficio de este esquema de direccionamiento para Internet es que reduce la demanda de direcciones IP de forma que las grandes organizaciones puedan necesitar solamente un bloque pequeño del espacio de direcciones global único IPv4.

5.3 Asignación de direcciones del espacio de direcciones de Clase A reservado

El borrador de Internet “*Observations on the Use of Components of the Class A Address Space within the Internet*” analiza la asignación de la mitad superior del espacio de direcciones de Clase A actualmente reservado a través de registros delegados. Como la demanda de direcciones IP continua creciendo, será necesario asignar el espacio de direcciones 64.0.0.0/2 que representa el 25% del espacio de direcciones IPv4 unicast.

5.4 Repercusiones de las políticas de asignación de direcciones

El borrador de Internet “*Implications of Various Address Allocation Policies for Internet Routing*” discute las cuestiones fundamentales que se deben de tener en cuenta cuando se desarrollen en Internet nuevas políticas de gestión y asignación de direcciones unicast. Este borrador compara los beneficios y limitaciones de una política de posesión de direcciones frente a una política de préstamo de direcciones.

La posesión de direcciones significa que cuando se asigna un bloque de direcciones a una organización, éste permanece asignado a dicha organización tanto tiempo como quiera mantenerlo. Esto significa que el bloque es portable y que la organización podrá utilizarlo para tener acceso a Internet sin importar donde se conecta a Internet.

El préstamo de direcciones significa que una organización obtiene su bloque de direcciones sobre una base de préstamo. Si éste finaliza, la organización no puede seguir utilizando el bloque de direcciones prestado y deberá obtener nuevas direcciones que tendrá que volver a numerar antes de utilizarlas.

El enrutamiento jerárquico requiere que las direcciones reflejen la topología de la red para permitir la agrupación de rutas. El borrador sostiene que existen dos problemas que rompen el modelo de direccionamiento y enrutamiento jerárquico soportado por CIDR:

- La existencia de forma continuada de rutas previas a CIDR que no pueden ser agrupadas.
- Organizaciones que cambian los ISPs y continúan usando direcciones del bloque de direcciones de su antiguo ISP.

El nuevo ISP no puede agrupar el bloque de direcciones antiguo como parte de su agrupación, por tanto debe inyectar una ruta excepcional dentro de Internet. Si el número de rutas excepcionales continúa incrementándose, erosionará los beneficios de CIDR y prevendrá la escalabilidad del sistema de enrutamiento de Internet.

El borrador recomienda que a los grandes proveedores, aquellos que pueden expresar sus destinos con un solo prefijo, se les asignen bloques de direcciones siguiendo el modelo de posesión de direcciones. Sin embargo, todas las asignaciones de estos proveedores a sus clientes deberían de seguir el modelo de préstamo de direcciones. Esto significa que si una organización cambia de proveedor, el préstamo se cancela y el cliente es obligado a reenumerar direcciones.

Este borrador ha generado una tremenda cantidad de discusiones dentro de la comunidad de Internet acerca del concepto de posesión de direcciones y lo que significa en el contexto global de enrutamiento.

Los administradores de organizaciones pequeñas que quieren poseer sus direcciones tienen preocupaciones acerca de la dificultad de reenumerar y su falta de autodeterminación si su proveedor o los proveedores por encima de éste cambian de proveedor.

Finalmente, a los ISPs les preocupa que el término “*gran proveedor*” no haya sido definido. En este momento, la discusión continúa puesto que cualquier criterio recomendado por la IETF está condenado a ser considerado como injusto por alguien.

5.5 Procedures for Internet/Enterprise Renumbering (PIER)

Ante el debate de la propiedad contra el préstamo de direcciones, está claro que volver a numerar se ha convertido en un problema. *Procedures for Internet/Enterprise Renumbering (PIER)* es un grupo de trabajo del IETF encargado de la tarea de desarrollar una estrategia de reenumerado. El RFC 1916 es una petición de PIER para que la comunidad de Internet proporcione ayuda en el desarrollo de una serie de documentos que describan cómo debería proceder una organización para reenumerar su red. El objetivo final de esos documentos es educar y proporcionar experiencia práctica a la comunidad de Internet.

5.6 Comercialización de la asignación de bloques de direcciones IP

El borrador de Internet “*Suggestions for Market-Based Allocation of IP Address Blocks*” es una propuesta para hacer transferibles las asignaciones de direcciones IPv4 y aprobar el intercambio de dinero como parte del procedimiento de transferencia. El borrador sugiere que la comunidad de Internet acoja la razón del beneficio económico como un incentivo para motivar a las organizaciones a actuar de forma que se mejore el uso de los recursos. Esta propuesta es similar a otra para introducir incentivos financieros a la agrupación de rutas (es decir, imponer a los ISPs una carga por cada ruta anunciada). La idea es trasladar las decisiones

con respecto a la escasez de recursos desde una atmósfera política a un entorno financiero mejor preparado para ocuparse de la escasez.