
Capítulo 2: Protocolo de Internet

En este capítulo se presenta una introducción acerca del protocolo de Internet y las características esenciales de la versión 4 de este protocolo; así como, la estructura de su encabezado de red. Debido a la evolución de este protocolo en su encabezado de red, la siguiente versión propuesta (correspondiente al número 6) es descrita en este capítulo de manera más detallada. Se realiza una introducción al protocolo de Internet versión 6 comparando las diferencias que existen entre este encabezado y el de IPv4. Así mismo, se hace una descripción de la nueva notación de direcciones IP utilizadas por esta versión y de la introducción de los prefijos como parte de éstas.

2.1 Introducción

Actualmente las redes de telecomunicaciones crecen cada vez más rápido conforme más servicios de red convergen entre sí, como: telefonía, multimedia y transmisión de datos. Como era de esperarse, estos servicios integrados incluyen en sí mismos redes inalámbricas, redes móviles, como las clásicas redes alámbricas. De esta manera, una consecuencia a este rápido desarrollo es la dificultad para comprender la interacción entre los protocolos, cada vez más complejos, de estos servicios [FEY01].

En general es bien sabido que el Internet como lo conocemos enfrentará un serio problema dentro algunos años ya que su rápido crecimiento y sus limitaciones en cuanto a diseño, llegará al punto en el que no habrá más direcciones disponibles para agregar nuevos usuarios a la red. Al llegar a esta situación se augura que no se podrán instalar nuevos servidores de red ni más usuarios podrán suscribirse a algún Proveedor de Servicios de Internet (*Internet Service Provider*, ISP) [RAM05].

A principios de los años 90, se hizo notar que el reducido espacio de direcciones IPv4 junto con la falta de coordinación para su asignación durante la década de los 80, sin ningún tipo de optimización dejando incluso espacios de direcciones discontinuos, generaría dificultades no previstas en aquel

momento [RAM05]. La mayoría de las predicciones acerca de cuándo se agotarían por completo las direcciones IPv4 estaban erradas. La principal razón de esto se debió a que el enfoque fue realizado con respecto a la densidad de las direcciones y no en su proceso de distribución con el paso de los años [FEY01]. Se puede observar que del total de espacio destinado para IP, un 6% se encuentra reservado, otro 6% es utilizado para realizar *multicast*, el 51% del espacio ha sido asignado a algún dispositivo, y el 37% restante (cerca de 1.5 billones de direcciones) no ha sido aún asignado [HUS03]. Aunque aún quedan cerca del 30-37% de direcciones disponibles, las cuales pueden ser utilizadas para asignar *unicasts* globales de direcciones IP a Registros Regionales de Internet (*Regional Internet Registries*, RIR) [KOT05], en realidad es difícil obtener bloques de direcciones IP debido a las estrictas políticas impuestas por los RIRs [VAR02]. Una actualización a este protocolo era inminente y el motivo básico para la creación del nuevo protocolo era la futura falta de direcciones.

Algunas aproximaciones se han realizado para resolver este problema de falta de direccionamiento. Una opción muy popular es la de no asignar a cada máquina una dirección IP única y utilizar, en vez de esto, un grupo de direcciones locales privadas y después traducirlas a direcciones públicas. En la mayoría de los casos puede ser sólo una dirección la que se asigne y que soporte la comunicación entre diversos puntos locales privados y puntos públicos externos [HUS03]. Esta opción es conocida como NAT (*Network Address Translation*) [FEY01]; sin embargo, esta aproximación presenta problemas al no permitir a sus computadoras protegidas poder ser accesadas en conexiones abiertas o del tipo *peer-to-peer* (P2P) [FEY01].

Otras aproximaciones llevadas a la práctica común son el caso de DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), que se encarga de asignar direcciones IP a dispositivos de red de una manera dinámica sin desperdiciar direcciones en direcciones inactivas de un nodo desconectado de la red. O el caso de VLSM (*Variable Length Subnet Mask*) es otro mecanismo que provee direcciones IPv4 con máscaras de longitud variable utilizando el mismo bloque de direcciones; es decir, el direccionamiento se hace en base a la necesidad individual de la red. Otra de las aproximaciones más populares llevadas a la práctica es el *subnetting*; éste, es un proceso que nos permite dividir un espacio de direcciones en subredes y dar lugar a un aprovechamiento óptimo de las direcciones [RFC 950].

2.2 Protocolo de Internet versión 4 (IPv4)

Mencionado anteriormente, el protocolo de Internet (IP) es un protocolo que pertenece a la Capa de red según el modelo TCP/IP que es utilizado por los protocolos de capa de transporte, como TCP, para encaminar los datos hacia su destino. IP tiene únicamente la misión de direccionar los datagramas generado en capa de red, sin comprobar la integridad del contenido.

Anteriormente no se solía hacer la distinción entre versiones del protocolo IP; pero, con la llegada de la versión 6 de éste se tuvo que empezar a diferenciar IPv6 de se su versión anterior, la versión 4. Una dirección IP versión 4 tiene una longitud de 32 bits escritos de la forma *dotted quad*, *a.b.c.d*, en donde cada una de a, b, c y d, representan un número decimal dentro del rango de 0 a 255. Dado esto, el rango de direcciones va desde 0.0.0.0 hasta 255.255.255.255, lo que significa que shay un límite en cuanto al número de direcciones IP que se puede proporcionar. IPv4 ofrece una posibilidad de 2^{32} número de direcciones, esto es 4, 294, 967, 296 o 4 billones de direcciones.

El espacio original de direcciones fue dividido en partes fijas, a las cuales se les dio el nombre de clases: A, B y C que son las divisiones más conocidas de este rango. También existen direcciones del tipo D y E, pero éstas están reservadas para propósitos experimentales y de *multicast* [MAL05]. Una dirección simple clase A tiene 8 bits asignados para identificar la red y 24 bits de direcciones para identificar a los usuarios. Una clase B presenta 16 bits de identificación de red y 16 bits para asignar las direcciones de usuario. Por último, una dirección clase C tiene 24 bits de red [MAL05] (ver Figura 2.1).

Clase/Bits	0	1	8	16	24	31
Clase A	0	Red		Número de usuario		
Clase B	1	0	Número de Red		Número de usuario	
Clase C	1	1	0	Número de Red		Número de Usuario
Clase D	1	1	1	0	Dirección de <i>Multicast</i>	
Clase E	1	1	1	1	Reservado	

Figura 2.1: Clases de direcciones IP. La primera columna identifica el tipo de Clase, la siguiente identifica el número de bits que la representan.

Se puede saber en que clase de dirección se encuentra un IP determinado, dependiendo del rango en el que ésta caiga [GOR98] (ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Rangos de direccionamiento según tipo de clase.

Clase	Rango de direccionamiento	Porcentaje del total de direcciones disponibles en IPv4
A	0.0.0.0-127.255.255.255	50%
B	128.0.0.0-191.255.255.255	25%
C	192.0.0.0-223.255.255.255	12.5%
D	224.0.0.0-239.255.255.255	6.25%
E	240.0.0.0-255.255.255.255	6%

2.2.1 Encabezado de trama

El protocolo de IP es un protocolo de Capa 3 en el modelo TCP/IP y su misión es direccionar el datagrama, generado en capa de red. Para ello se utiliza un encabezado que se antepone al datagrama que se maneja y es el que proporciona las características de ruteo y transmisión.

Si suponemos que en la capa inmediata superior, TCP, también se agregó un encabezado, el datagrama queda de la siguiente manera:



Figura 2.2: Estructura de un datagrama.

El encabezado IP de la capa de red tiene una longitud de 160 bits que es lo mismo que 20 bytes y está conformado por varios campos de distinto significado [GOR98] (ver Figura 2.3).

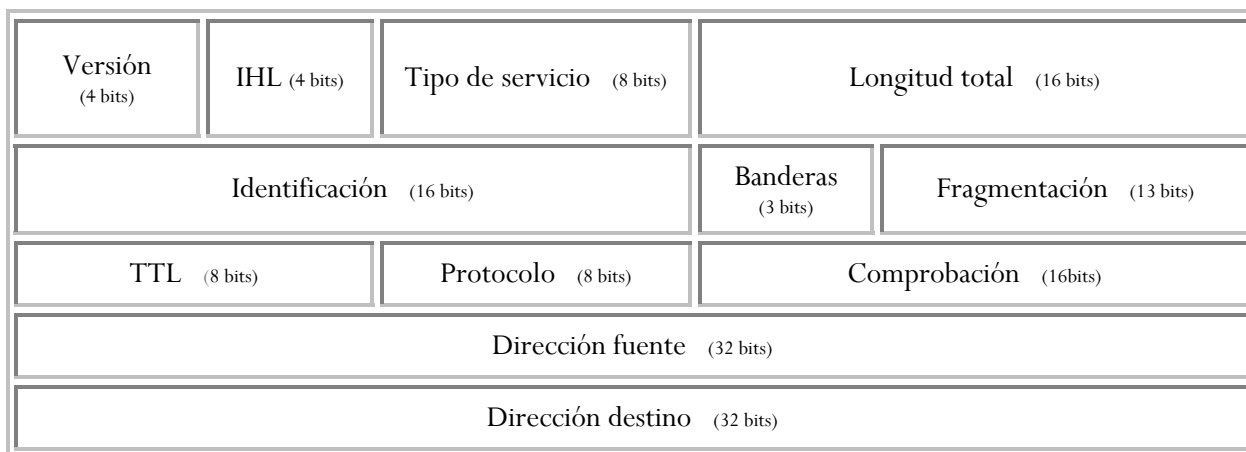


Figura 2.3: Encabezado IPv4.

Estos campos se definen a continuación:

1. **Versión:** número de versión del protocolo IP utilizado. Para IPv4 este tendrá un valor 4 (4 bits).
2. **Longitud de encabezado** (*Internet Header Length*, IHL): Especifica la longitud del encabezado expresado en el número de grupos de 32 bits que contiene (4 bits).
3. **Tipo de servicio** (*Type Of Service*, TOS): se utiliza para indicar la prioridad o importancia de los datos enviados, lo que condicionará la forma en que éstos serán tratados durante la transmisión. (8 bits).
4. **Longitud total:** Es la longitud en bytes del datagrama completo, incluyendo el encabezado y los datos. Como este campo utiliza 16 bits, el tamaño máximo del datagrama no podrá superar los 65.535 bytes, aunque en la práctica este valor es mucho más pequeño (16 bits).
5. **Identificación:** se utiliza para facilitar el ensamble de los fragmentos del datagrama (16 bits).
6. **Banderas:** Indicadores utilizados en la fragmentación (3 bits).
7. **Fragmentación:** Contiene un valor (*offset*) para poder ensamblar los datagramas que se hayan fragmentado. Está expresado en grupos de 8 bytes (64 bits), comenzando con el valor cero para el primer fragmento (16 bits).
8. **Límite de existencia** (*Time To Live*, TTL): Contiene un número que disminuye cada vez que el paquete pasa por un nodo. Si este número llega a cero, el paquete será descartado. Esto es necesario por razones de seguridad para evitar redundancia cíclica, aunque es bastante improbable que esto suceda en una red correctamente diseñada, no debe descuidarse esta posibilidad (8 bits).

9. **Protocolo:** El número utilizado sirve para indicar a qué protocolo pertenece el datagrama que se encuentra a continuación del encabezado IP, de manera que pueda ser tratado correctamente cuando llegue a su destino (8 bits).
10. **Comprobación:** necesario para verificar que los datos contenidos en el encabezado de IP son correctos. Por razones de eficiencia este campo no puede utilizarse para comprobar los datos incluidos a continuación, sino que estos datos de usuario se comprobarán posteriormente a partir del campo de comprobación del encabezado siguiente, y que corresponde al nivel de capa de transporte. Este campo debe calcularse de nuevo cuando cambia alguna opción de encabezado, como puede ser el límite de existencia (16 bits).
11. **Dirección fuente:** Contiene la dirección del usuario que envía el paquete (32 bits).
12. **Dirección destino:** Esta dirección es la del usuario que recibirá la información. Los ruteadores o *gateways* intermedios deben conocerla para dirigir correctamente el paquete (32 bits).

2.3 Protocolo de Internet versión 5

Muchas personas se preguntan que sucedió con IPv5. Porqué el cambio de IPv4 a IPv6 sin tomar la versión 5 como opción. En realidad IPv5 nunca existió como una versión del Protocolo de Internet; de hecho, esta versión 5 en el encabezado identificaba paquetes que llevaban un protocolo experimental no IP de tiempo real llamado ST (*Stream Protocol*).

En la década de 1970's, el protocolo llamado ST fue creado con propósito experimental, para transmitir voz y video. Dos décadas después este protocolo fue sometido a revisión y se convirtió en ST2 y se empezó a implementar en proyectos comerciales por grupos como IBM, NeXT, Apple y Sun. Este nuevo protocolo garantizaba QoS (*Quality of Service*), o Calidad de Servicio, a diferencia de su contraparte IPv4. ST y ST2 fueron asignados con la versión 5 del protocolo. Debido a que ST nunca fue extensamente utilizado, y la versión 5 ya estaba asignada, la nueva versión del protocolo IP tuvo que quedarse con el identificador siguiente, el 6 [RFC 1819].

Muchos fueron los intentos realizados por cambiar la manera en que las direcciones IPv4 eran utilizadas sin tener que cambiar las bases de su encabezado. Estos métodos sólo extendían la vida de

IPv4, mas no resolvían la obviedad del problema. Para mantener el éxito de IP en un futuro era necesario incluir planes con funcionalidades más avanzadas y en 1994 el IPng (*Internet Protocol next generation*) fue concebido en con el objetivo de empezar a migrar de protocolo pero esto nunca pasó.

Cuando se asignó la versión 6 al protocolo de Internet, se suponía que fuera la “autoridad”, en cuanto a envío de información se refería, sobre IPv4. Este, incrementaba el número de bytes utilizados para direccionamiento (de 4 bytes a 16 bytes), introdujo el ruteo de tipo *anycast*, retiró completamente los encabezados de *checksum* de la capa de red e introdujo otra cuantas mejoras. Este campo de 8 bits identifica si la versión utilizada es 4, en el caso que así lo sea, ó 5 si refiere a una versión de siguiente generación.

2.4 Protocolo de Internet versión 6

Diseñado por Steve Deering de Xerox PARC y Craig Mudge, IPv6 está destinado a sustituir al estándar IPv4, cuyo límite en el número de direcciones de red admisibles está empezando a restringir el crecimiento de Internet y su uso, especialmente en China, India, y otros países asiáticos densamente poblados. Este nuevo estándar pretende mejorar el servicio global; por ejemplo, proporcionando a futuras redes telefónicas y dispositivos móviles tener direcciones propias y permanentes.

IPv4 soporta 4.294.967.296 (2^{32}) direcciones de red diferentes; mientras que, IPv6 soporta 40.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456 (2^{128}) ó 340 sextillones de direcciones — cerca de $4,3 \times 10^{20}$ (430 trillones) direcciones por cada pulgada cuadrada ($6,7 \times 10^{17}$ ó 670 mil billones direcciones/mm²) de la superficie de La Tierra [RAM05]. El nuevo sistema de direccionamiento es uno de los cambios más importantes que aporta la versión 6 del protocolo IP, donde se ha pasado de los 32 a los 128 bits (un número cuatro veces mayor) y que estas nuevas direcciones identifican a un interfaz o conjunto de interfaces más que a un nodo (aunque como cada interfaz pertenece a un nodo, es posible referirse a éstos a través de su interfaz [GOR98]). El esfuerzo que se realiza para la especificación de IPv6 es una iniciativa recién empezada.

El trabajo realizado por la IAB (*Internet Activities Board*) en 1991, identificó que las dos situaciones para escalar el Internet son: un incremento en la tasa de consumo de espacio de direcciones y un crecimiento semejante en las tablas de ruteo de interdominio. La conclusión a la que se llegó fue

que “si se asume que la arquitectura de Internet continuará en uso indefinidamente, entonces se necesitará flexibilidad adicional (direcciones)” [IAB00]. Estas iniciativas fueron retomadas mas tarde por la IETF (*Internet Engineering Task Force*) con el establecimiento de ROAD (*ROuting and ADressing*). Este esfuerzo pretendía examinar los temas asociados con el direccionamiento y ruteo de direcciones IP analizando la tasa de consumo de direcciones y la tasa de crecimiento en tablas de ruteo, sin pretender dar solución a ellos. Pero, dado el consumo exponencial de direcciones en juego, la perspectiva sobre el agotamiento de espacio en IPv4 era una realidad.

El mayor resultado del esfuerzo de la IETF ROAD fue la recomendación para desaprobar los límites entre red-usuario asociados con las clases A, B y C de direcciones. En su lugar la IETF propuso la adopción de una arquitectura de direcciones y ruteo en donde estos límites, entre el usuario y la red, se configuraran explícitamente para cada red y que se pudieran alterar cada vez que dos o más bloques de direcciones se agregaban. Esta aproximación fue conocida como CIDR (*Classless Inter Domain Routing*) y tenía como objetivo “ganar” un poco de tiempo ante el consumo exponencial de direcciones, más no se pretendía del todo que fuera una arquitectura escalable. Sin embargo, la arquitectura de direcciones y ruteo IPv4 de CIDR resultó ser un gran éxito, y 10 años después seguía manteniéndose en pie.

Se argumenta que CIDR es importante, más no la única razón por la que IPv4 desafía las predicciones de su propio fallecimiento. La traducción dinámica de direcciones de red, NAT, permite a una red utilizar un grupo de direcciones locales privadas sobre sus usuarios, y después traducirlas a direcciones públicas, de esta manera, una pequeña cantidad de direcciones públicas, o incluso una sola, es utilizada para dar servicio a una red local más grande.

Para 1992, la rebautizada IAB, ahora *Internet Architecture Board*, reconocía el esfuerzo de ROAD y mantenía su idea acerca de una estrategia para el crecimiento de Internet. Su estrategia partía del punto de que la siguiente generación de IP sería CLNP (*Connectionless Network Protocol*). Este protocolo es un elemento del modelo OSI definido por el estándar ISO 8473, que utiliza una arquitectura de longitud variable en la asignación de direcciones, donde la longitud de ésta puede ser superior a los 160 bits [RFC 1347]. Para la IAB este era un paso importante, pero en julio de 1992 ante la IETF esta propuesta no fue bien recibida.

La idea que la IETF sostenía no era un nuevo planteamiento en cuanto a que dirección seguir; mas bien era, una redefinición total y general de las estructuras y miembros de la organización en sí, incluyendo el IAB. Por supuesto un cambio tan estructural en la composición, papeles y responsabilidades de las estructuras se podrían convertir en un problema sin un progreso definitivo. Inmediatamente la IETF se embarcó en un esfuerzo por emprender una revisión fundamental en el protocolo del Internet y se esperaba tuviera como resultado encontrar o generar otro protocolo de alta eficiencia tanto en ruteo como en direccionamiento. La IETF solicitó también ayuda a varios sectores de la industria, en general, para comprender las dimensiones de este proyecto, y crear un nuevo protocolo. En 1994, el equipo de diseño del protocolo de “siguiente generación” de la IETF, definió lo que es el núcleo del protocolo IPv6. La característica esencial de este protocolo era un refinamiento del ya existente protocolo en su versión 4 (V4), que más que una idea revolucionaria era otro enfoque arquitectónico diferente de la V4.

IPv6 ha tenido una gran variedad de nombres - los documentos originales de IAB se refieren a él como versión 7 de IP, ya que suponían que el número de protocolo 5 y 6 ya estaba en uso por redes de investigación (ver sección 2.3). Cuando surgió de nuevo la duda sobre el nombre de IPv6, se sugirió IPng, por “*next generation*”. Pero la última palabra sobre el nombre de IPv6 la tuvo la IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*) que indicó que el número 6 para el protocolo estaba disponible; así pues, la especificación final fue nombrar con una versión 6 al Protocolo IP [HUS03].

2.4.1. Direcciones IPv6

El cambio más drástico de IPv4 a IPv6 está sin duda en la longitud de las direcciones de red. Las direcciones IPv6, definidas en el RFC 2373 y RFC 2374, son de 128 bits lo que corresponde a 32 dígitos hexadecimales que se utilizan normalmente para escribir las direcciones IPv6. Estas direcciones están compuestas por dos partes lógicas: un prefijo de 64 bits y otra parte de 64 bits que corresponde al identificador de interfaz que casi siempre se genera automáticamente a partir de la dirección MAC de la interfaz a la que está asignada la dirección.

Como se menciona en la sección 2.4.3, existen tres tipos de direcciones: *unicast*, *anyast* y *multicast*. El tipo específico de estas direcciones IPv6 está indicado por los bits que encabezan la dirección y se conoce como Formato de Prefijo (FP). La administración de estas direcciones se organiza en tres niveles de jerarquía:

- Registro
- Proveedor
- Subscriptor

Este formato de dirección permite la distribución flexible de direcciones a cada nivel de la jerarquía de administración de tal manera que se soporte la gran demanda durante la asignación de direcciones.

El formato de estos 128 bits, que aquí se trata, es de tipo *unicast* ya que es un tipo de dirección que más comúnmente se utiliza. Esta dirección, maneja el prefijo *010* binario (el mismo formato de dirección puede ser utilizado con otro prefijo mientras que la dirección siga siendo de tipo *unicast*). Como se puede ver en la Figura 2.4 este formato de dirección consiste de las siguientes partes:

- Formato de Prefijo (010)
- ID de registro
- ID de proveedor
- ID de subscriptor
- Intra-subscriptor (este es definido directamente por el subscriptor)

3	5 bits	n bits	56-n bits	64 bits
010	ID de registro	ID de proveedor	ID de subscriptor	Intra-subscriptor

Figura 2.4: Formato de dirección de 128 bits [RFC 2073].

Para mayor referencia acerca de cómo es utilizado este formato de 128 bits se recomienda consultar el RFC 2073.

ID de registro: Este valor pretende facilitar una fácil distribución geográfica de direcciones para facilitar la operación de los RIR. Este identificador va inmediatamente después del Formato de Prefijo y es parte de la dirección IPv6.

ID de proveedor y ID de subscriptor: Estas direcciones son asignadas por registro de manera individual. Estos registros definen cuanto espacio de direcciones va a ser asignado al proveedor y a sus subscriptores.

Intra-subscriptor: Esta porción de la dirección se deja que sea asignada directamente por los subscriptores individuales.

Se espera que este formato de dirección sea ampliamente utilizado por nodos IPv6 conectados a Internet.

2.4.1.1 Notación para las direcciones IPv6

La representación de las direcciones se hace en cadenas de texto del tipo:

x:x:x:x:x:x:x

donde cada x es un valor hexadecimal de 16 bits, de cada uno de los 8 campos que definen la dirección.

Por ejemplo:

2001:0db8:85a3:08d3:1319:8a2e:0370:7334

es una dirección IPv6 válida.

Pero existen tres formas convencionales de representar estas direcciones:

1. La más popular de ellas es la cadena ya antes mencionada:

x:x:x:x:x:x:x

2. Dado que en IPv6 es común encontrar largas cadenas de ceros, si un grupo de cuatro dígitos es nulo (es decir, toma el valor "0000"), la dirección puede ser comprimida. Por ejemplo,

2001:0db8:85a3:0000:1319:8a2e:0370:7344

es la misma dirección que

2001:0db8:85a3::1319:8a2e:0370:7344

El uso de “::” indica que uno o mas grupos de 16 bits son cero; pero, si la dirección contiene más de una serie de grupos nulos consecutivos la compresión sólo será valida para uno de ellos. Así:

2001: 0000:0DB8: 0000: 1428:0000: 57ab: 1403

2001: 0000:0DB8: 0000: 1428:: 57ab: 1403

Cuando se tiene el caso en que más de una cadena nula (0000), existe la opción de representarlas mediante la compresión, por ejemplo:

2001:0DB8:0000:0000:0000:0000:1428:57ab

2001:0DB8:0:0:0:0:1428:57ab

Otra opción válida, es el uso de la notación “::” :

2001:0DB8::1428:57ab

Los ejemplos anteriores son válidas y significan lo mismo, pero por ejemplo:

2001::25de::57ab

no es válido ya que no queda claro cuantos grupos nulos hay en cada lado.

Los ceros iniciales en un grupo pueden ser omitidos también. Por ejemplo:

2001:0DB8:02de::0e13

es lo mismo que:

2001:DB8:2de::e13

3. Otra manera forma alternativa, quizás la más conveniente de ellas, cuando se tiene un ambiente mixto de nodos IPv4 e IPv6. Para escenarios con este tipo de ambientes, es posible utilizar la siguiente sintaxis: **x:x:x:x:x:d.d.d**, donde x representa valores hexadecimales de las seis

primeras partes más significativas (de 16 bits cada una) que componen la dirección y las d, son valores decimales de las 4 partes menos significativas (de 8 bits cada una que representan las direcciones IPv4 estándar). Por ejemplo:

::FFFF:129.144.52.38

donde 129.144.52.38 representa a una dirección IPv4. El formato anterior se denomina dirección IPv4 mapeada, y el formato ::1.2.3.4 dirección IPv4 compatible.

2.4.2. Tipos de direcciones

De acuerdo al RFC 2732, existen tres tipos de direcciones:

- *Unicast*: identifican a una sola interfaz (comunicación uno-uno).
- *Multicast*: que identifican un grupo de interfaces (direcciones de grupo).
- *Anycast*: identifican a un conjunto de interfaces (similar a *multicast*)

Los tipos de direcciones IPv6 pueden identificarse tomando en cuenta los bits de mayor orden como sigue

Tabla 2.2: Tipo de direcciones IPv6 basadas en las establecidas por el RFC 3513.

Tipo de Dirección	Prefijo (binario)	Notación IPv6
No especificada	00...0 (128 bits)	::/128
<i>Loopback</i>	00...1 (128 bits)	::1/128
<i>Multicast</i>	11111111	FF00::/8
<i>Unicast (Link-local)</i>	1111111010	FE80::/10
<i>Unicast (Site-local)</i>	1111111011	FEC0::/10
<i>Unicast global</i>	(lo restante)	-

Como es de notarse, IPv6 no maneja direcciones de *broadcast*, ya que su funcionalidad ha sido mejorada por las direcciones *multicast* [RFC 2375]. La ventaja a esto, es que los sistemas que no están interesados en cierta información no son forzados a dedicar ciclos de trabajo recibéndolos. La funcionalidad de las direcciones de *broadcast* pueden emularse utilizando la de tipo *multicast* FF01::1, denominada *all nodes*.

Por otro lado, las direcciones *multicast* y *anycast* pueden utilizarse como direcciones destino, pero sólo las de tipo *unicast* pueden ser utilizadas como direcciones fuente.

Una dirección IPv6 identifica específicamente una interfaz más que a un usuario o nodo como en IPv4. Esto no es un hecho revolucionario como podrá parecer desde que usuarios que pertenecen a diferentes subredes (*multi-homed host*) son comunes en redes IPv4, con cada puerto perteneciendo a una subred diferente.

Como en IPv4, en IPv6 también existe una jerarquía de direcciones, ésta es considerablemente más compleja que la jerarquía de las clases A/B/C de IPv4, que es descrita vía una anotación adicional para dirigir los fragmentos de direcciones que son representado normalmente por “/” y un conteo de los bits significativos. Por ejemplo, la notación 5A00::/8 significa que el grupo de direcciones IPv6 comienza con los 8bits. A continuación una Tabla con las jerarquías para IPv6:

Tabla 2.3: Jerarquías de direcciones establecidas para IPv6. Como se puede notar la gran mayoría de ellas no está asignada aún.

Dirección	Prefijo (binario)	Uso
::/3	000	Uso especial
0::/8	0000 0000	Reservada
2000::/3	001	No asignada
8000::/3	100	Basado geográficamente
FE90::/10	1111 1110 10	Enlace Local
FEC0::/10	1111 1110 11	Sitio Local
FF00::/8	1111 1111	Multicast

2.4.3 Prefijos

La representación de prefijos en subredes, ruteadores y rangos de direcciones IPv6 son expresados de la misma forma que la notación CIDR utilizada en IPv4. Un prefijo de dirección IPv6 se representa con la siguiente notación: **dirección-IPv6/longitud-prefijo**, donde *dirección-IPv6* es una dirección IPv6 en cualquiera de las notaciones mencionadas anteriormente, mientras que *longitud-prefijo* representa un

valor decimal que indica cuántos de los bits más significativos comprenden al prefijo [RFC 3515]. Por ejemplo:

12AB:0000:0000:CD30:0000:0000:0000/60

es una dirección IPv6 con un prefijo de 60. Esto quiere decir que los primeros 60 bits representan la subred, el cual tendría un prefijo de:

12AB00000000CD3

Como en todas las situaciones, hay casos no válidos para representar a los prefijos. Estos casos se muestran a continuación:

12AB:0:0:CD3/60 ya que puede no tomar en cuenta los ceros iniciales (en este caso el cero antes de CD3).

12AB::CD30/60 la dirección a la izquierda de “/” se expande de la siguiente manera :

12AB:0000:0000:0000:0000:0000:CD30

12AB::CD3/60 que tendría una representación de la siguiente manera:

12AB:0000:0000:0000:0000:0000:0CD3

Cuando se escriben tanto la dirección del nodo, como su prefijo se utiliza la siguiente forma:

Si la dirección del nodo es: **12AB:0:0:CD30:123:4567:89AB:CDEF**

y su número de subred: **12AB:0:0:CD30::/60**

esto se puede abreviar como: **2AB:0:0:CD30:123:4567:89AB:CDEF/60**

2.4.4 Encabezado de red

El tamaño del encabezado del protocolo IPv6 es de 320 bits o 40 bytes, el doble de lo que hay en la versión 4. Sin embargo, este nuevo encabezado se ha simplificado con respecto al anterior. Algunos campos se han retirado de la misma, mientras que otros se han convertido en opcionales por medio de las extensiones (como es el caso de la Fragmentación, y Tipo de Servicio). Es muy importante

remarcar, que de esta manera los ruteadores no tienen que procesar parte de la información del encabezado o *header*, disminuyendo el tiempo de procesamiento. El formato completo de la cabecera sin las extensiones es el siguiente [GOR98]: (ver Figura 2.5).

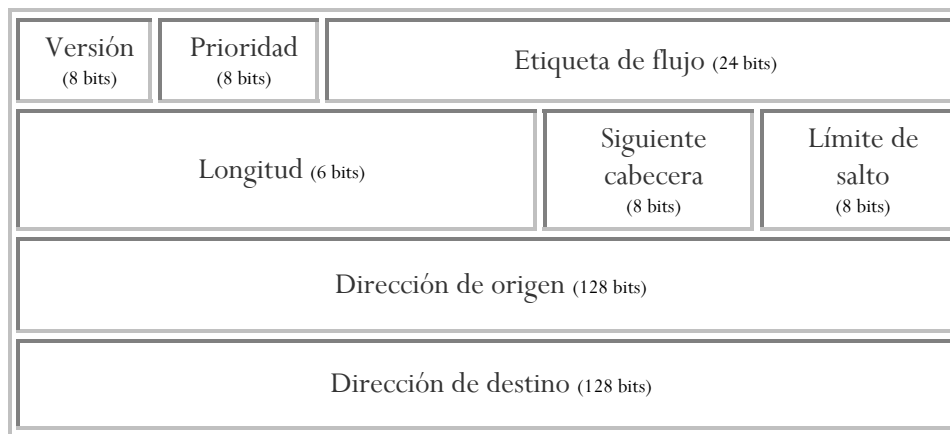


Figura 2.5: Encabezado IPv6.

Sus campos se definen a continuación:

1. **Versión:** Este grupo de bits es siempre de 0110 (6 decimal). Este mismo grupo de cuatro bits está en 0100 (4 decimal) para IPv4. Así que, cualquier paquete puede ser fácilmente distinguido (4 bits).
2. **Prioridad:** Este número está entre el rango de 0-15 y especifica, como lo indica su nombre, la prioridad del paquete. IPv6 divide el tráfico en dos categorías, congestión-controlada y congestión no-controlada. El Tráfico de congestión- controlada puede ser arbitrariamente retrasada si la red está congestionada, mientras que el tráfico no-controlado no puede ser retrasado y debe ser descartado. Éste último está típicamente asociado con aplicaciones tales como video y audio en tiempo-real.
3. **Etiqueta de flujo:** Campo que se utiliza para indicar que el paquete requiere un tratamiento especial por parte de los ruteadores que lo soporten. Este valor puede ser utilizado para identificar el tipo de flujo de tráfico y provee la capacidad de ruteo de tráfico específico a un flujo en particular vía una ruta en determinada. También se puede simplificar el proceso de ruteo, manteniendo el rastro de a donde va la fuente/destino del flujo y hacer una búsqueda en tablas. Estas etiquetas aun están en etapa experimental (24 bits).

4. **Longitud efectiva de Datos:** Es la longitud en bytes de los datos efectivos que se encuentran a continuación del encabezado (permitiendo valores de hasta 65 535). Junto con el tamaño del encabezado, proporciona el tamaño del datagrama (*6 bits*).
5. **Siguiente encabezado:** Se utiliza para indicar el protocolo al que corresponde el encabezado que se sitúa a continuación del encabezado básico. El valor que puede tomar este campo es el mismo que el que se maneja en la versión 4 de IP (*8 bits*).
6. **Límite de salto (*Hop*):** Tiene el mismo propósito que el campo de la versión 4, y es un valor que disminuye en una unidad cada vez que el paquete pasa por un nodo. Determinar que tan lejos “viaja” un datagrama y es utilizado para prevenir el ciclado de éstos (*8 bits*).
7. **Dirección de origen:** El número de dirección del *host* que envía el paquete. Su longitud es cuatro veces mayor que en la versión 4 (*128 bits*).
8. **Dirección de destino:** Número de dirección de destino, aunque puede no coincidir con la dirección del *host* final en algunos casos. Su longitud es cuatro veces mayor que en la versión 4 del protocolo IP (*128 bits*).

Los datos situados en los encabezados de tipo opcional (Encabezados de Extensión) se procesan sólo cuando el mensaje llega a su destino final, lo que supone una mejora en el rendimiento y tiempo de procesamiento. Otra ventaja adicional es que el tamaño del encabezado no está limitado a un valor fijo de bytes como ocurría en la versión 4. Por razones de eficiencia, las extensiones del encabezado siempre tienen un tamaño múltiplo de 8 bytes. Actualmente se encuentran definidas extensiones para *routing* extendido, fragmentación y ensamble, seguridad, confidencialidad de datos, etc [GOR98].

Debido a la similitud entre los encabezados del Protocolo de Internet Versión 4 y Versión 6 (IPv4/IPv6), se puede considerar el decir que trabajan casi de la misma manera y que hablan el mismo “lenguaje”. Es por esto que se puede trabajar con mayor transparencia, en cuanto al trabajo conjunto con otros protocolos de capas superiores o inferiores de TCP/IP y otros protocolos que asisten durante el procesamiento de la información.

Como es sabido, IPv6 es una versión sucesora del Protocolo de Internet Versión 4, por lo tanto las modificaciones entre estas dos versiones del mismo protocolo se encuentran en lo siguiente:

- Simplificación en el formato del encabezado
- Capacidad de direccionamiento extendido
- Capacidad de Etiquetamiento de Flujo
- Capacidad de Autenticación y Privacidad
- Soporte mejorado para Extensiones y Opciones dentro del encabezado [RFC 2460]

2.5 Sistema de Nombre de Dominio (DNS)

Las direcciones IPv6 se representan en el Sistema de Nombres de Dominio (DNS) mediante registros AAAA (también llamados registros de *quad-A*, por analogía con los registros A para IPv4). El concepto de AAAA fue una de las dos propuestas al tiempo que la arquitectura IPv6 estaba siendo diseñada. La otra propuesta utilizaba registros A6 y otras innovaciones como las etiquetas de cadena de bits y los registros DNAME. La idea de A6 fue una revisión y puesta a punto del DNS para ser más genérico, de ahí su complejidad, mientras que la idea de AAAA es una simple generalización del DNS IPv4. El RFC 3363 recomienda utilizar registros AAAA hasta que se pruebe y estudie exhaustivamente el uso de registros A6. El RFC 3364 realiza una comparación de las ventajas y desventajas de cada tipo de registro.

2.6 Resumen

Adoptado por el *Internet Engineering Task Force* en 1994 (cuando era llamado "IP *Next Generation*" o IPng), IPv6 cuenta con un pequeño porcentaje de las direcciones públicas de Internet, que todavía están dominadas por IPv4. IPv6 es la versión sucesora del Protocolo de Internet que se ha adoptado para uso general. También hubo un IPv5, pero no fue un sucesor de IPv4; mejor dicho, fue un protocolo experimental orientado al flujo que intentaba soportar voz, video y audio.

Aunque la adopción de NAT alivia parcialmente el problema de la falta de direcciones IP, pero una de las desventajas de esta adopción hace difícil o imposible el uso de algunas aplicaciones P2P (*Peer-to-Peer*) como voz sobre IP (VoIP) y juegos multiusuario. La ventaja de tener campos de direcciones más

largos es que entonces no haya la necesidad forzada de utilizar NAT como traductor de direcciones para aumentar el valor escalar de direcciones en la red.

Un paquete IPv6 está constituido principalmente de dos partes: el encabezado y los datos. El encabezado tiene una longitud de 40 bytes, y está compuesto por los siguientes campos: Versión de IP (4 bits), Clase de Tráfico (8 bits, denota la prioridad del paquete), Etiqueta de Flujo (20 bits, maneja la Calidad de Servicio), Longitud del Campo de datos (16 bits), Encabezado Siguiente (8 bits), Límite de Salto (8 bits), Dirección origen y Dirección destino de 128 bits cada una. La Tabla 2.6 muestra las diferencias básicas entre el encabezado IPv4 y su sucesor IPv6.

Tabla 2.6: Encabezados básicos de IPv4 e IPv6.

IPv4	IPv6
20 octetos de encabezado	40 octetos de encabezado
12 campos	8 campos
4 octetos (32 bits) de direcciones	16 octetos (128 bits) de direcciones
Calidad de Servicio especificado en el campo de Tipo de Servicio: <ul style="list-style-type: none"> Originalmente: Tipo de Servicio (5 bits) Prioridad (3 bits) 	Calidad de Servicio especificado en la Etiqueta de Flujo y Clase de Tráfico: <ul style="list-style-type: none"> Originalmente: Clase de Tráfico (nunca utilizado)
Opciones Limitadas (raramente utilizadas)	Sistema de encabezados extensibles (significante número de paquetes tendrán encabezados de extensión)
Fragmentación de paquetes en ruteadores. Información de fragmentación contenida en el encabezado principal (campo siempre presente)	Fragmentación de paquetes sólo en el nodo fuente. Información de fragmentación contenida en el encabezado de extensión (presente sólo si es necesitado)
Checksum del encabezado	No checksum
TTL (originalmente se suponía que fuera en unidades de tiempo).	Salto (ahora por saltos)
Longitud total (comprende el tamaño del encabezado más el de la carga)	Longitud total (el tamaño del encabezado es fijo y el resto depende de los encabezados de Extensión)

La representación de las direcciones IPv6 se hace en cadenas de texto del tipo: **x:x:x:x:x:x:x:x** donde cada x representa a un valor hexadecimal de 16 bits, de cada uno de los 8 campos que definen la dirección. Un ejemplo de estas direcciones es:

01:0db8:85a3:08d3:1319:8a2e:0370:7334

En nuestros días, el gran catalizador de IPv6 es la capacidad de ofrecer nuevos servicios como la movilidad, Calidad de Servicio (QoS), privacidad, etc. Pero no es sólo esto, si no la capacidad de IPv6 de ofrecer una respuesta a la escasez de direcciones, por lo que se piensa utilizar.

De manera leve se puede ver a IPv6 como una tentativa para recobrar el propósito original de IP para que dé un simple y uniforme servicio de red que proporcione flexibilidad en aplicaciones de punta a punta. A menudo hay casos en que arquitecturas complejas no son escalables, y desde esta perspectiva IPv6 aparenta ser todo lo contrario. Se espera que IPv4 se siga soportando hasta por lo menos el 2025, ya que hay muchos dispositivos que aun no se migrarán a IPv6 y que seguirán siendo utilizados por mucho tiempo.