

# Evolución del Protocolo de Internet hacia IPv6

Por MsC. Alejandro Núñez Sánchez, Especialista en Telemática,  
Filial de Atención a Gobierno 6, ETECSA  
alenusa@etecsa.cu

## Introducción

El protocolo IPv4 presenta varios problemas, tanto de direccionamiento como de ineficiencia en los tiempos de respuesta, debido al enorme dimensionamiento de las tablas de encaminado (*routing*) en el troncal de Internet. A principios del año 1991, se hizo evidente la necesidad de reaccionar para resolver los problemas ocasionados por el crecimiento espectacular de Internet. El aumento previsto del número de periféricos que requieren una conexión Internet amenazaba con sumergir las capacidades de IPv4. Si no se hacía algo, era la estabilidad de Internet la que seguramente hubiese estado amenazada. Era necesario un nuevo protocolo, con mayor capacidad para direcciones, un mejor encaminamiento y una actualización integrada que pudiera reportar los siguientes beneficios:

1. Eliminar los parches del IPv4, es decir, los **añadidos** que a este protocolo ha sido necesario crear, por ejemplo, medidas para permitir la Calidad de Servicio (QoS), la Seguridad (IPsec) y la Movilidad; siendo muy difícil la utilización de dos **añadidos** al mismo tiempo.
2. Desaparecer el mecanismo NAT, que ha provocado que muchas aplicaciones sólo puedan ser usadas en intranets porque varios protocolos como Kerberos, RTP y RTCP, IPsec, etc., son incapaces de atravesar dispositivos NAT.
3. Propiciar el creciente desarrollo de las tecnologías existentes y la

aparición de nuevas que amplíen el uso de este protocolo y permitan la comunicación entre diferentes dispositivos independientemente de su localización en la red global.

4. Convergencia de voz, video y datos en infraestructuras basadas en IP.

5. Brindar facilidades a la creciente movilidad de los usuarios de Internet, pues ellos desean acceder a los mismos servicios Internet desde el trabajo, el coche o desde su casa, lo que crea la necesidad de más de un IP por persona. Sin contar, además, que con la llegada al hogar de accesos a Internet de gran ancho de banda y ofertas de servicios **siempre conectados**, los consumidores desean conectar a la red dispositivos de seguridad, entre otros.

6. Necesidad de soluciones inmediatas para resolver los problemas provocados por la escasez de direcciones —aunque la falta de direcciones no es apreciable por igual en todos los puntos de la red o en todas las zonas geográficas—, la gran dimensión de las tablas de encaminado en el troncal de Internet que la hace ineficaz y perjudica enormemente los tiempos de respuesta y al crecimiento sostenible de aplicaciones que necesitan direcciones IP públicas únicas, globales, válidas para conexiones extremo a extremo y, por lo tanto, encaminables (enrutables), por ejemplo: videoconferencia, voz sobre IP, seguridad e incluso juegos.

## Características generales del IPv6

El IPv6 es una evolución integral y dinámica de IPv4, no una revolución. Incluye mejoras y resuelve los problemas existentes en IPv4. Entre las características fundamentales o básicas de IPv6 pueden mencionarse:

El **direccionamiento** que es prácticamente infinito, las direcciones pasan de 32 a 128 bits asignadas jerárquicamente. Estas direcciones son identificadores de 128 bits para interfaces y conjuntos de interfaces y son de tres tipos: *unicast*, *anycast* y *multicast*.

En el nuevo proceso de direccionamiento hay un formato nuevo de encabezado en la estructura de las direcciones. Estas pasan de 14 campos alineados a 32 bits en la cabecera a 8 campos alineados a 64 bits para evitar la innecesaria redundancia de la información en IPv4.

El **encaminamiento** es jerárquico mediante la agregación de rutas, donde las direcciones dependen estrictamente de la topología de la red. Las agregaciones pueden ser de dos tipos: una en que las direcciones son asignadas del rango de direcciones de cada proveedor, y otra en que las direcciones dependen del **punto de intercambio** al que se conecten.

La **autoconfiguración** se incluye en el protocolo base y se sustenta en el intento de la propia pila por autoconfigurarse y descubrir el

camino de conexión a Internet. El proceso incluye la creación de una dirección de enlace local, la verificación de que no está duplicada en dicho enlace y la determinación de la información que ha de ser autoconfigurada. Existen dos tipos de autoconfiguración, una sin intervención y otra predeterminada.

La **movilidad** es una característica obligatoria del IPv6, la cual posibilita que el ordenador mantenga la misma dirección IP a pesar de su movilidad, es decir, independientemente del punto de conexión del mismo a Internet en cada momento. Para esto, los nodos IPv6 almacenan la información de vinculación entre la dirección de partida y la posición actual a modo de caché y, por lo tanto, son capaces de enviar los paquetes destinados al nodo móvil directamente a su posición actual. El protocolo define nuevas opciones de destino, una de las cuales debe ser soportada, incluso, en paquetes recibidos por todos los nodos aunque no sean móviles. Ya se está estandarizando el uso de una cabecera de movilidad que se añade después de las cabeceras auxiliares básicas, dicha cabecera establece un modo de comunicación (señalización) entre los nodos implicados.

Otras características de esta nueva versión del protocolo son la **versatilidad**, que facilita un formato flexible de opciones y la extensión mejorada, la **multimedia**, que consiste en la identificación de flujos, el **multicast**, que permite el control de ámbitos, y la **seguridad**, que permite la autenticación y encriptación del protocolo base, además incluye IPsec y beneficia a todas las aplicaciones con ella.

La representación general de las direcciones IPv6 sigue el siguiente esquema: X:X:X:X:X:X:X:X, donde X es un valor de 4 dígitos hexadecimales separados por:

#### Notaciones válidas

- ♦ FEDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210
  - ♦ 1080:0000:0000:0000:0008:0800:200C:417A = 1080:0:0:0:8:800:200C:417A = 1080::8:800:200C:417A —omite los ceros consecutivos intermedios—
  - ♦ 0:0:0:0:13:1:68:4 = ::13:1:68:4 —omite los ceros consecutivos a la izquierda—
  - ♦ FF01:0:0:0:0:0:0:43 = FF01::43 —dirección *multicast*—
  - ♦ 0:0:0:0:0:0:0:1 = ::1 —dirección *loopback*—
  - ♦ 0:0:0:0:0:0:0:0 = :: —dirección no especificada—
  - ♦ 12AB:0000:0000:CD30:0000:0000:0000:0000/60 = 12AB::CD30:0:0:0:0/60 = 12AB:0:0:CD30::/60 —prefijo de 60 bits—
- Direcciones compatibles con IPv4
- ♦ 0:0:0:0:0:194.179.46.78 = ::194.179.46.78
  - ♦ ::131.178.100.30 —utilizadas por estaciones de IPv6 para comunicarse sobre túneles automáticos—

#### Direcciones IPv6 con IPv4 mapeado

- ♦ ::FFFF:131.178.100.30 —utilizadas por estaciones con pilas duales para comunicarse sobre IPv4 con el uso del direccionamiento de IPv6 en las llamadas del sistema—

#### Notaciones no válidas

- Tomando como referencia la siguiente notación:  
12AB:0000:0000:CD30:0000:0000:0000:0000/60, no son válidas las siguientes representaciones de la misma:
- ♦ 12AB:0:0:CD3/60 —dentro de un grupo de 16 bits, se pueden omitir los ceros de la izquierda, pero no los de la derecha—
  - ♦ 12AB::CD30/60 —se pierden los ceros a partir de CD30—
  - ♦ 12AB::CD3/60 —los dos errores anteriores, combinados—
- La utilización de :: significa que lo que está entre dos valores de 4 dígitos hexadecimales se corresponde con dos o más campos consecutivos en cero, es decir, que no se usa cuando se trata de un solo campo.

### Encabezado de IPv6

El encabezado de IPv4 sufre algunos cambios al dar lugar al encabezado de IPv6, algunos campos desaparecen, otros se modifican y aparecen nuevos.

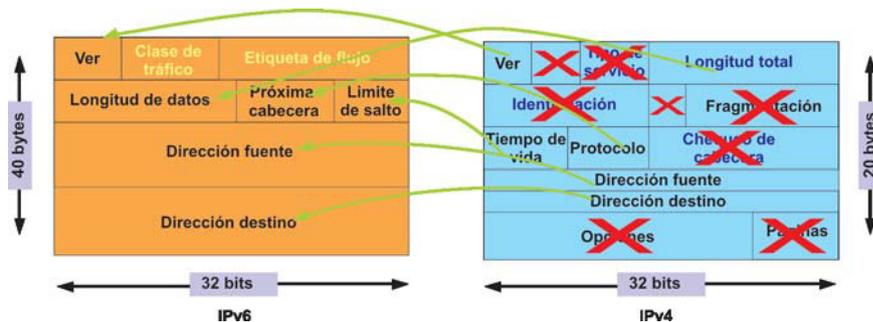


Figura 1 Estructura del paquete IP

Los campos renombrados son la longitud total por la longitud de datos que tiene un tamaño de 16 bits y puede llegar hasta 65 536 bytes, el protocolo por la próxima cabecera que tiene un tamaño de 8 bits y el tiempo de vida por el límite de salto el cual también tiene un tamaño de 8 bits. Aparecen dos campos nuevos: la clase de tráfico para funciones de prioridad y clase, y la etiqueta de flujo que permite tráficos con requerimientos de tiempo real, tiene longitud de 20 bits; ambos campos facilitan la Calidad de Servicio (QoS) y la Clase de Servicio (CoS). Los campos longitud de cabecera, tipo de servicio, chequeo de cabecera, opciones y relleno fueron eliminados de la cabecera en la nueva versión del protocolo IPv6 para evitar la redundancia innecesaria de la información; y las funciones de los campos identificación, banderas, fragmentación fueron trasladadas al encabezado extendido de fragmentación.

### Diferencias entre IPv4 e IPv6

IPv6 tiene marcadas diferencias con la versión anterior de IP, muy apreciables en las características de esta nueva generación. A continuación se reflejan algunas de las principales diferencias entre estas versiones del protocolo IP.

<i>IPv4</i>	<i>IPv6</i>
<i>Las direcciones de origen y de destino tienen una longitud de 32 bits (4 bytes).</i>	<i>Las direcciones de origen y de destino tienen una longitud de 128 bits (16 bytes).</i>
<i>La compatibilidad con IPSec es opcional.</i>	<i>La compatibilidad con IPSec es obligatoria.</i>
<i>No hay identificación de carga para el control de QoS por parte de los enrutadores en el encabezado de IPv4 pues aunque está el campo tipo de servicio, este no está implementado.</i>	<i>La identificación de carga para el control de QoS por parte de los enrutadores se incluye en el encabezado de IPv6 mediante los campos etiqueta de flujo y clase de tráfico.</i>
<i>La fragmentación es posible en los enrutadores y en el host de envío.</i>	<i>La fragmentación no es posible en los enrutadores. Sólo es posible en el host de envío.</i>
<i>El encabezado incluye una suma de comprobación.</i>	<i>El encabezado no incluye una suma de comprobación porque otros mecanismos de encapsulado ya realizan esta función.</i>
<i>El encabezado incluye opciones.</i>	<i>Todos los datos opcionales se mueven a extensiones de encabezado IPv6.</i>
<i>El Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP) utiliza tramas de solicitud de ARP de difusión para resolver una dirección de IPv4 en una dirección de nivel de enlace.</i>	<i>Las tramas de solicitud de ARP se reemplazan por mensajes Neighbor Solicitation —Solicitud de Vecino— de multidifusión.</i>
<i>Se utiliza el Protocolo de administración de grupos de Internet (IGMP) para administrar la pertenencia a grupos de subredes locales.</i>	<i>El protocolo IGMP se reemplaza por mensajes Multicast Listener Discovery —MLD o Descubrimiento de Escucha de Multidifusión—.</i>
<i>Para determinar la dirección IPv4 de la mejor puerta de enlace predeterminada se utiliza el descubrimiento de enrutadores de ICMP, que es opcional.</i>	<i>Para determinar la dirección IPv6 de la mejor puerta de enlace predeterminada se utilizan los mensajes Router Solicitation —Solicitud de Enrutador— y Router Advertisement —Anuncio de Enrutador— de ICMPv6, que son necesarios.</i>
<i>Las direcciones de difusión se utilizan para enviar tráfico a todos los nodos de una subred.</i>	<i>No hay direcciones de difusión en IPv6. En su lugar, se utiliza una dirección de multidifusión para todos los nodos de ámbito local de enlace.</i>
<i>La configuración debe efectuarse manualmente o a través de DHCP.</i>	<i>La configuración puede ser manual, por DHCPv6, o de forma automática —descubrimiento automático, sin intervención—.</i>
<i>Utiliza registros de recursos A de dirección de host en el Sistema de Nombres de Dominio—Domain Name System (DNS)— para asignar nombres de host a direcciones IPv4.</i>	<i>Utiliza registros de recursos AAA de dirección de host en el Sistema de Nombres de Dominio (DNS) para asignar nombres de host a direcciones IPv6.</i>

## Migración hacia IPv6

El aspecto más importante dentro de la temática de esta nueva versión del protocolo de Internet lo constituye el proceso de migración hacia IPv6, para lo cual existen varios mecanismos de migración que permiten la integración o interacción de sistemas IPv4-IPv6 entre los que pueden mencionarse:

- ♦ Mecanismos de tipo túnel: se basan en el encapsulamiento y están enfocados a unir dos islas IPvX a través de un océano de IPvY. Esta técnica utiliza el incorporado de estructuras de direcciones de IPv4, que elimina la necesidad de configuración de túnel en la mayoría de los casos.

- ♦ Mecanismos de traducción: se basan en traducir en un elemento de red los paquetes de un formato a otro. Esta técnica permite a nodos que implementan solamente IPv6 interoperar con nodos que implementan solamente IPv4. Traducen las cabeceras de los paquetes entre IPv4-IPv6 —sólo los campos comunes— y adolecen del mismo problema que los NAT en IPv4: fiabilidad, cuello de botella, escalabilidad, limitan las aplicaciones a utilizar, etc.

Para la aplicación de cualquiera de estos mecanismos de migración hay que tener en cuenta las estrategias para la migración de IPv4 a IPv6, en la cual se tendrá en cuenta el aumento del tráfico de IPv6 en cuanto a ISPs y *backbones* principales, las estrategias para

redes finales —clientes y servidores— con la utilización de mecanismos de traducción o de tipo túnel. Considerar, además, las estrategias para los ISPs en las cuales se pueden emplear traductores si a través de los ISPs de IPv4 tradicionales se accede a Internetv4 y se trata de ofrecer acceso a Internetv6, y empleando túneles si mediante los nuevos ISPs de IPv6 accedemos a Internetv6 y por medio de túneles a través de Internet ofrecemos conectividad con Internetv4 utilizando los traductores. Para migrar los *backbones* se debe mantener la configuración actual y migrar sólo cuando el tráfico entunelado sea mayor que el tráfico IPv4.

## IPv6 en Cuba

En Cuba se ha creado el grupo de trabajo IPv6 como entidad rectora para proponer las estrategias y las políticas del llamado Plan Estratégico Nacional de Transición a IPv6, que debe seguirse ante la necesidad de la aplicación del nuevo protocolo de Internet IPv6. Este grupo persigue varios objetivos, por ejemplo, estudiar las recomendaciones emitidas por el IETF y organizaciones de la región; crear grupos de trabajo para el estudio de las distintas áreas de trabajo de implementación; elaborar las recomendaciones para: la administración de redes, la comunidad académica, las empresas importadoras de tecnolo-

gías, el órgano regulador, otras entidades y los móviles; y elaborar estrategias de divulgación nacional e internacional del proyecto cubano de IPv6.

## Conclusiones

A pesar de que la transición a IPv6 es un proceso largo, complejo y muy costoso es necesario e inevitable, pues queda muy poco tiempo para el agotamiento en Internetv4. IPv6 es la única manera de garantizar el crecimiento sostenido de Internet en los próximos años; los pasos iniciales que se han dado, demuestran la madurez y estabilidad que en general tienen los mecanismos de transición cuyo ritmo estará marcado por las aplicaciones. Es muy importante estudiar las características de cada entorno para escoger los mecanismos de transición más adecuados.

A nivel mundial existe un gran esfuerzo acerca de IPv6 —Internet Protocolo versión 6— y puede considerarse como un desarrollo estable y maduro, aún cuando continúan los trabajos en muchas áreas. Por el momento, y durante algún tiempo, deben coexistir IPv4 e IPv6. En el futuro la Internet contará con una gran utilización de tecnologías inalámbricas. El modelo cliente/servidor será reemplazado en buena medida por el modelo *Peer to Peer*, y aumentará así la comunicación interpersonal. 

## Bibliografía

- Fluckiger, François. "From World-Wide Web to Information Superhighway". Proceedings of the JENC6, Tel-Aviv, Israel. Publicado por TERENA, Amsterdam, 1995.
- "Forum IPv6". Disponible en: <http://www.ipv6forum.com>. (Consultado: diciembre de 2005).
- Hinden, R.M. "IP Next Generation". *Connexions*, vol. 9, no. 3 (marzo 1995):
- Huitema, Christian. *IPv6: The New Internet Protocol*. USA: Prentice Hall, 1998.
- IPv6 Cuba (en línea): lista abierta de discusión sobre temas generales acerca de todo lo relacionado con el protocolo IPv6 en Cuba. Disponible en: <http://www.ipv6forum.com>. (Consultado: marzo de 2006)
- "Internet2". Disponible en: <http://www.internet2.edu>. (Consultado: marzo de 2006).
- "IP Next Generation". Disponible en: <http://www.playground.sun.com/pubipng/tmlipng-min.tml>. (Consultado: enero de 2006).
- LACNIC. Disponible en: <http://www.lacnic.net>. (Consultado: noviembre de 2005).
- Martínez, Ignacio. "La Internet y la tecnología de las autopistas de la información. *Boletín de Fundesco*, no. 166-167 (julio-agosto 1995):
- Martínez, Ignacio. "Multimedia I: Multicast IP y su aplicación en audio/video conferencia en la Internet". *Boletín de RedIRIS*, no. 24 (1993):
- Portal IPv6 Cuba. Disponible en: <http://www.cu.ipv6tf.org/>. (Consultado: diciembre de 2005).
- RFC 1519 "Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy. (Septiembre 1993). By V. Fuller, T. Li, J. Yu, K. Varadhan. Disponible en: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1519.txt>. (Consultado: diciembre de 2005).
- RFC 2460 "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification". (Dic. 1998). By S. Deering y R. Hinden. Disponible en: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt>. (Consultado: marzo de 2006).
- Thomas, Stephen A. *IPng and the TCP/IP Protocols*. USA: John Wiley & Sons, 1996.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. Disponible en: <http://www.itu.int>. (Consultado: marzo de 2006).

## Glosario

IP: Protocolo de Internet. Protocolo de enrutamiento del conjunto de protocolos TCP/IP responsable de la asignación de direcciones IP, el enrutamiento y la fragmentación y ensamblaje de paquetes IP. IPv4 es la versión que actualmente se utiliza de este protocolo.

IPv6: es la nueva versión del protocolo a la que se aspira migrar, en sus inicios era llamado Protocolo de Internet de Nueva Generación (IPng). IPv6 es un protocolo de datagramas sin conexión no confiable, que se utiliza principalmente para el direccionamiento y enrutamiento de paquetes entre *host*.

IPSec: Seguridad de Protocolo de Internet. Representa la tendencia a largo plazo hacia las redes seguras, es un conjunto de servicios de protección y protocolos de seguridad basados en criptografía. Como no requiere cambios en los programas o en los protocolos, se puede implementar fácilmente en las redes existentes.

ISP: Proveedor de Servicios de Internet. Compañía que proporciona a particulares y a otras compañías acceso a Internet. Un ISP facilita un número de teléfono, nombre de usuario, contraseña y demás información de conexión, de forma que los usuarios puedan conectar su equipo a los del ISP. Los ISP suelen cobrar una tarifa de conexión mensual o por horas.

Kerberos: protocolo de autenticación. Mecanismo de autenticación utilizado para comprobar la identidad de usuarios o *hosts*. El protocolo de autenticación Kerberos V5 es el servicio de autenticación predeterminado en Windows 2000. La característica Seguridad de Protocolo Internet (IPSec) y el servicio de control de admisión QoS utilizan el protocolo Kerberos para la autenticación.