

Este artículo apareció originalmente en la revista Mundo Linux de Revistas Profesionales. Se autoriza la reproducción de este artículo siempre que se haga referencia al autor (Javier Sedano) y al editor (Revistas Profesionales) y se mantenga su integridad.



La Internet de nueva generación: IPv6

A día de hoy, a nadie se le escapa la importancia que la Internet tiene en el mundo. Es una fuente de información, uno de los medios de comunicación más extendidos, y para muchos un modelo de negocio. Pero poco a poco se va quedando pequeña, y una nueva versión del protocolo Internet viene a suplir las carencias que el actual tiene: IPv6.

¿Qué es IPv6?

Cuando se diseñó el actual protocolo de red de la Internet (la versión 4 del Protocolo Internet, o simplemente IPv4, leído “IP versión 4”), no se tuvo nunca en cuenta el crecimiento exponencial que ha experimentado en los últimos diez años (y lo que queda por crecer). Cada vez hay más usuarios, y el espacio de direcciones que proporciona IPv4 empieza a quedarse pequeño. A la vez, se pide nuevas funcionalidad extra, como seguridad, eficiencia, calidad de servicio, etcetera a un protocolo que nunca fue diseñado para eso.

Por si fuera poco, IPv4 nunca se diseñó pensando en una implantación a gran escala, de modo que los equipos de red tienen que dedicar un gran esfuerzo de CPU sólo para hacer el más simple encaminamiento, sin proporcionar ninguna funcionalidad adicional.

IPv6 (IP versión 6) se creó a principios de los años 90, cuando se detectaron esos problemas y se pensó que podrían empezar a ser importantes en el futuro.

Nueva funcionalidad de IPv6

O dicho de otro modo: ¿qué proporciona IPv6 frente a IPv4? ¿Por qué debería querer sustituir mi red con este nuevo protocolo? Veamos una lista de las propiedades más importantes:

Más usuarios

Las direcciones de red de IPv4 son de 32 bits. Puede parecer que 2 elevado a 32 es un número muy grande, pero por el modo ineficiente en que se asignan direcciones a los proveedores, organizaciones y usuarios, así como los rangos de direcciones designados para usos especiales, el número efectivo de usuarios potenciales es mucho menor.

Además, está deficientemente repartido por el mundo, de modo que en Estados Unidos se han reservado muchas direcciones, mientras que en Asia o África las direcciones asignadas son muy pocas (se dice que hay países enteros en Asia que tienen tantas – o tan pocas – direcciones como algunas universidades estadounidenses).

La forma actual de resolverlo es utilizando direcciones privadas detrás de un NAT (*Network Address Translation*, traducción de dirección de red; lo que en Linux se llama *IPmasquerading* y en Windows *Compartir conexión a internet*). Pero la solución de un NAT sólo es útil para usuarios cliente, ya que hace muy difícil (y a veces imposible) el despliegue de servidores públicos y servicios de P2P... y no digamos ya si se encadenan más de un NAT uno detrás de otro (cómo de hecho ocurre en muchos proveedores de acceso asiáticos).

En IPv6 las direcciones son de 128 bits (aproximadamente 10^{38} direcciones... prácticamente infinito), con lo cual se puede proporcionar una dirección a cada usuario de la red (incluso si consideramos que otros aparatos, como el coche, el teléfono móvil o las máquinas de refresco, puedan necesitar una dirección IP), durante mucho tiempo.

Por todo esto, no es de extrañar que IPv6 sea ya una realidad en Asia, donde las dos opciones son utilizar un proveedor que te da acceso a través de varios NAT (con todas sus limitaciones), o desplegar una red IPv6.

Autoconfiguración

La gente en general no quiere tener que enchufar su ordenador a una red y tener que saber nada sobre direcciones IP, *gateways*, servidores de DNS, etcetera. Hasta ahora, en IPv4, se utilizan soluciones basadas en DHCP para proporcionar esa configuración automática, pero eso no deja de ser un parche a un nivel superior para un problema que debería resolver la propia red, de modo que puede dar lugar a inconsistencias y está muy limitado.

En IPv6 la configuración automática esta incorporada en el protocolo, de modo que los equipos de red (*routers*) proporcionan a los demás terminales una dirección IP pública automáticamente, y les dice que es su *gateway*. Asimismo, se proporcionan mecanismos (direcciones *anycast*) para que los usuarios ni siquiera tengan que averiguar cuál es la dirección de los servidores de DNS, o incluso de los servidores de correo o de cualquier otro servicio, si se desea.

Seguridad

En IPv4 todos los paquetes se transmiten en claro por la red, con el consiguiente riesgo de seguridad que eso supone, de modo que si una aplicación desea cifrar la información, debe hacerlo ella misma. De nuevo, se han encontrados dos formas de evitar el problema: utilizar SSL o similares para proporcionar la seguridad a nivel de transporte, o realizar la seguridad a nivel de aplicación (como SSH o HTTPS).

La tercera solución, IPsec proporciona dicha seguridad en el nivel de red. IPsec es una buena idea, que proporciona tanto autenticación como integridad (cifrado de los datos)... pero casi no se usa. En IPv6 el IPsec es mandatorio, de forma que cualquier pila IPv6 debe proporcionarlo.

Multicast

La utilización de flujos *unicast* para retransmitir contenidos de difusión (por ejemplo, un *stream* de vídeo o de música, o una videoconferencia) o en general para enviar lo mismo a más de un receptor, es muy ineficiente. Por ejemplo, cuando estamos enviando una señal de audio de 64kbps desde nuestra radio digital por Internet, si tenemos aunque sólo sea diez oyentes, necesitamos al menos 640kbps de subida en nuestra conexión... pero en el camino que va desde nuestro servidor hasta el *router* de nuestro proveedor, y puede que más allá, ¡el contenido de los paquetes es el mismo diez veces!

La solución es utilizar una red que soporte *multicast*, para enviar una sola copia de los datos desde nuestro servidor a la red, y que sea la propia red la que se encargue de enviar una copia a cada cliente, si lo necesita. De nuevo, esto se puede hacer sobre IPv4, pero no es habitual encontrarlo en las redes públicas. En IPv6 el *multicast* es mandatorio, de modo que todas las pilas deben implementarlo.

Calidad de servicio

Tal y como se han diseñado la Internet y su protocolo de red, todos los paquetes se tratan por igual, con independencia de si llevan información importantísima que no debe perderse (como por ejemplo, parte de una conexión para bajar un correo) o información que es urgente que se retransmita sin retardo (como por ejemplo, información de voz) o lo que sea.

Como con el *multicast*, se han diseñado mecanismos para proporcionar esa discriminación, concepto conocido como Calidad de Servicio o QoS (*Quality of Service*). Aunque en IPv4 se proveen ciertos mecanismos que facilitan la provisión de QoS, la experiencia ha demostrado que quizá deberían haberse elegido de otro modo. En IPv6 se ha aprovechado esa experiencia para añadir campos que faciliten la provisión de QoS.

Movilidad

Cada vez más, no sólo queremos tener conexión a la red, sino que queremos tenerla en cualquier sitio, y queremos mantener la misma funcionalidad que teníamos cuando estábamos en la red de nuestra oficina o nuestra casa independientemente de dónde estemos. Por si fuera poco, queremos poder disfrutar de ese

servicio incluso sin notarlo, manteniendo nuestras conexiones activas aunque cambiemos de red (y esto es fundamental cuando tratamos con servicios multimedia para móviles, como por ejemplo Voz sobre IP o vídeo bajo demanda).

Protocolos como MIP (*Mobile IP*, IP móvil) o HMIP (*Hierarchical MIP*, MIP jerárquico) permiten hacer todo eso. Pero nuevamente, se trata de parches sobre el protocolo IPv4, que no fue diseñado para eso, lo que lleva a que no sea eficiente, y lo más importante: necesita que el resto de nodos de la red también implementen ese protocolo. En IPv6 la movilidad es una funcionalidad obligatoria, de modo que cualquier sistema que soporte IPv6 debe implementarlo, y además se ha incluido desde el principio en el protocolo.

Velocidad

Cuando se diseñó IPv4 nunca se pensó en que un *router* tuviese que hacer el encaminamiento de forma eficiente. La cabecera del protocolo no está alineada a 32 bits, ni a 16 bits, ni a ninguno de los tamaños de palabra que los microprocesadores manejan eficientemente, y además puede incorporar opciones que dificulten la interpretación rápida.

En IPv6 se ha pensado desde el primer momento en que no sólo se trata de diseñar un protocolo teórico, sino que eso luego hay que implementarlo en un microprocesador (o incluso por hardware), de modo que es preferible condenar otras cosas si se consigue que ese manejo sea más rápido (por ejemplo, es preferible dejar unos cuantos bits sin usar, para futura expansión, y de ese modo malgastar un poco de ancho de banda, si a cambio si consigue alinear los campos de la cabecera a 32 bits).

Además, en lugar de insertar las opciones en la propia cabecera, se ha creado el concepto de cabeceras de extensión, que incorporen todo lo que sea necesario para añadir nuevas funcionalidades (movilidad, seguridad,...), pero permitiendo a la vez que los *routers* que simplemente necesiten encaminar en función de la cabecera principal puedan hacerlo eficientemente.

Asimismo, ya que se rediseña la Internet IPv6 desde cero, se ha aprovechado para hacer la asignación de direcciones de forma jerárquica, de modo que los *routers* de un determinado nivel de la jerarquía sólo necesitan saber sobre las direcciones que manejan sus pares, en grandes bloques del espacio de direcciones; así, las tablas de rutas se mantienen lo suficientemente cortas y manejables y se necesita menos CPU para hacer el encaminamiento. Aunque esto no es un beneficio propiamente dicho de IPv6, se debe a que se está desplegando una red nueva y se está haciendo bien.

Transición de IPv4 a IPv6

Obviamente, nadie piensa que se pueda decir: “a partir de hoy, eliminamos IPv4 de la Internet y ponemos IPv6”. La transición hay que hacerla poco a poco, empezando a dar servicios en la red IPv6, pero manteniendo los que ya se dan en IPv4. Y dejando que los usuarios de nuestra organización accedan a la red IPv6 a la vez que siguen conectados a la Internet IPv4.

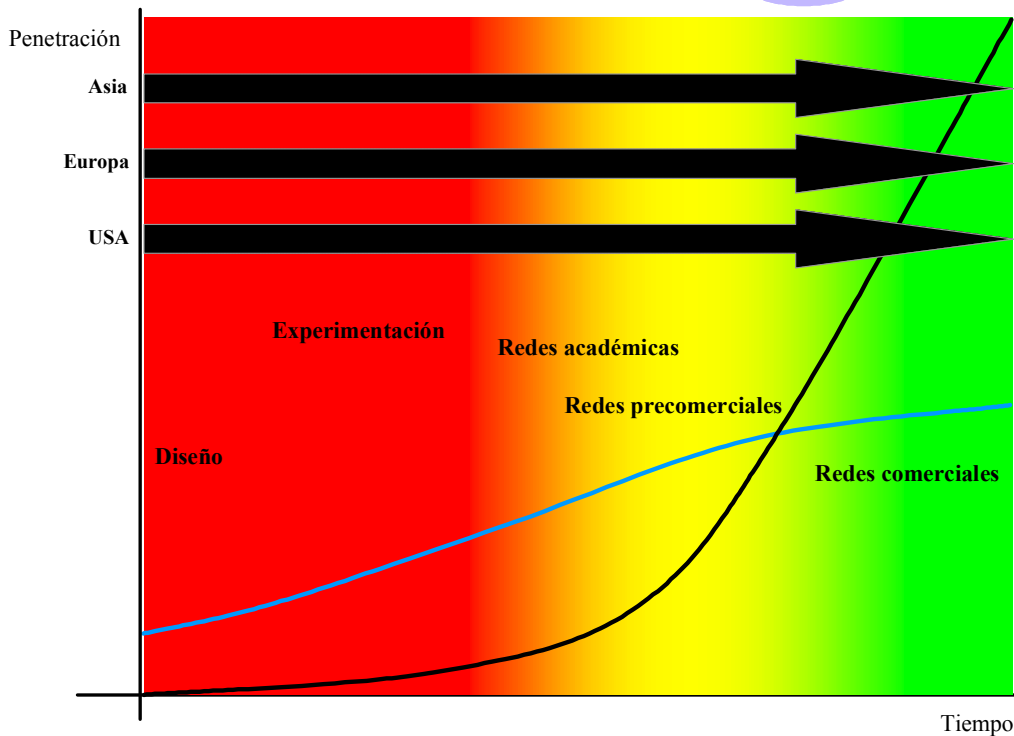
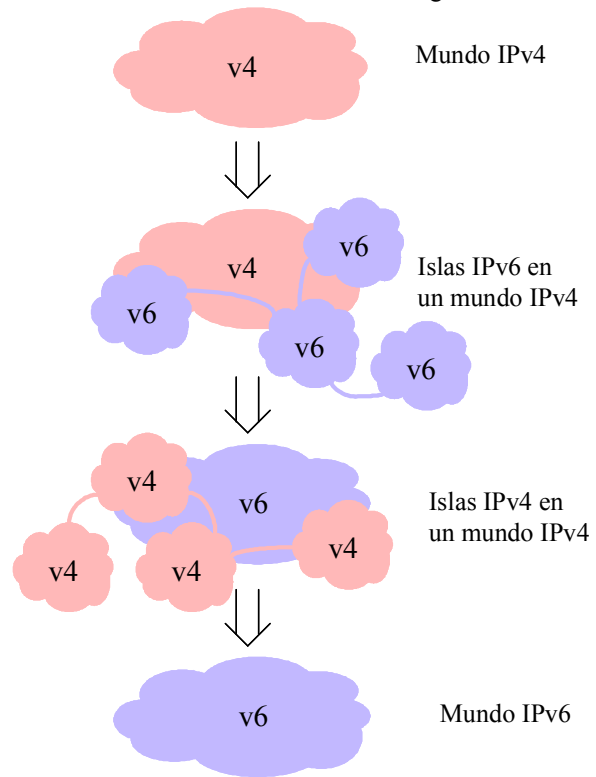
Asimismo, se han diseñado mecanismos para que clientes que sólo tienen IPv4 accedan a servidores que sólo saben de IPv6, y viceversa. Veamos algunos de los más importantes.

- *Dual-stack* (doble pila): un equipo puede tener instaladas la pila IPv4 y la pila IPv6 a la vez, de modo que si esta conectado a los dos tipos de red, puede dar servicio en ambas.
- Túneles: permiten hacer una conexión IPv6 sobre una red IPv4 (y viceversa). De ese modo, si nuestro proveedor sólo nos da conexión IPv4, podemos unirnos a la red IPv6 a través de ella (o al revés). Es el mecanismo habitual de conexión si nuestro proveedor de acceso no da conectividad IPv6 nativa, y ya hemos conseguido que se nos asigne un rango de direcciones IPv6. Una extensión de este mecanismo, llamada “túneles automáticos”, permite establecer este túnel automáticamente, para que equipos duales tengan conectividad IPv6 a través de una red sólo IPv4.
- NAT-PT (*Network Address Translation - Protocol Translation*, traducción de dirección de red – traducción de protocolo): es una extensión del NAT que ya se usa en IPv4 para además de cambiar la dirección, cambiar la cabecera del protocolo completa, manteniendo los datos de cada paquete intactos.

- 6to4: permite construir una red completa IPv6 a partir de una única dirección IPv4, de modo que cualquier *router* que sea *relay* 6to4 pueda encaminar paquetes, a través de la red IPv4, hasta ella. Es la forma más usual de conectar pequeñas redes al mundo IPv6 sin tener direcciones IPv6 asignadas.

Podemos ver en la figura 1 cómo se espera que sea la transición hacia IPv6 en el mundo. Partiendo de un mundo sólo IPv4, van apareciendo algunas redes IPv6, que poco a poco van interconectándose, a veces de forma nativa, y a veces utilizando túneles sobre la red IPv4 para ello (ésta es la situación actual). Según van apareciendo más redes interconectadas y más servicios IPv6, las redes IPv4 quedan relegadas a un segundo plano, de forma que con el tiempo serán islas en un mundo IPv6, hasta que acaben desapareciendo.

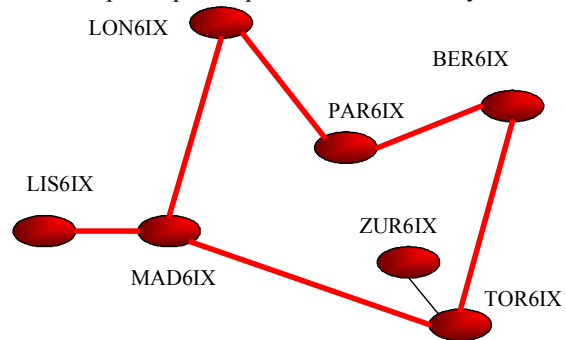
En la figura 2 podemos ver el estado de la transición y las redes en Europa, Asia y Estados Unidos. Aunque en Asia parecen llevarnos un par de años de ventaja en cuanto a penetración, es de esperar que las medidas del Sexto Programa Marco de la Unión Europea acorten esa distancia. Del mismo modo, Estados Unidos se encuentra ligeramente retrasado (fundamentalmente por la gran cantidad de direcciones IPv4 que tiene asignadas), aunque es de esperar que con el tiempo se ponga a la par de asiáticos y europeos.



Ejemplo de despliegue: la red Euro6IX

Aunque por falta de espacio no podemos entrar en detalles sobre la forma en que se está desplegando el *backbone* de Euro6IX, sí que podemos mostrar algunos apuntes. La red Euro6IX trata de proporcionar un *backbone* nativo IPv6 sobre el que las distintas organizaciones participantes puedan dar servicios y experimentar con nuevas aplicaciones. A la vez, se trata de experimentar con nuevos servicios de red, como movilidad, calidad de servicio, multicast o multihoming, y ver cómo puede afectar eso a los 6IX.

En la figura 3 puede verse la forma que tiene esta red, incluyendo intercambiadores en Madrid, Lisboa, Londres, París, Berlín, Zurich y Turín, y redes finales colgando de ellos.



Conclusiones

A lo largo del artículo hemos dado un rápido repaso a lo que está siendo el protocolo IPv6 y lo que quiere ser. Hemos visto cómo, utilizando uno o más de los mecanismos de transición explicados (o algunos otros que no hemos revisado), es posible conectarse a las redes IPv6 existentes, y hemos visto qué nuevos servicios de red proporciona, de modo que podamos empezar a desplegar servicios sobre ellos.

Aunque algunas de las funcionalidades más avanzadas aún están en estado de desarrollo, son las que tampoco se proporcionan en IPv4, de modo que no echaremos de menos ninguno de los servicios de red que utilizamos habitualmente... y dispondremos de algunos nuevos.

Aunque en Estados Unidos el despliegue de IPv6 es muy lento, en Asia está ya funcionando, y empieza a desplegarse en Europa. Casi todas las universidades y centros de investigación, operadoras de telecomunicaciones y fabricantes de equipos que tienen algo que decir en protocolos de red están involucrados en los proyectos de investigación y despliegue de IPv6 que se hacen en el mundo, y algunas de las operadoras incluso lo ofrecen ya como servicio (en general como valor añadido a otros servicios prestados).

Es por ello que, aunque quizá es un poco pronto para empezar a hacer negocio desplegando servicios en IPv6 (a pesar de que algunos ya comienzan a hacerlo), no lo es para empezar a dedicar esfuerzo a ello, igual que los primeros emprendedores hicieron a mediados de los 90 con la actual Internet.

IPv6 en el mundo

Siempre que se despliega un nuevo protocolo de red, se produce un círculo vicioso que dificulta su crecimiento hasta que se alcanza un punto crítico: como no hay red que lo permita, no se hacen aplicaciones con soporte; pero como no hay aplicaciones, no tiene sentido desplegar una red. Hay cientos de proyectos en el mundo para desarrollar código IPv6 o para tratar de romper ese bucle. Algunos de los más importantes (por su importancia intrínseca en el mundo, o por su importancia para Europa y España) son los siguientes:

- 6bone (<http://www.6bone.net>): el primer proyecto que trata de crear una red IPv6 mundial real, utilizando túneles sobre la red Internet IPv4 para ello.
- KAME (<http://www.kame.net>): un proyecto que trata de proporcionar una pila y unas aplicaciones IPv6 a los sistemas BSD (y de paso, a muchos sistemas UNIX y Windows).
- USAGI (<http://www.linux-ipv6.org>): aunque la pila IPv6 del *kernel* estándar de Linux tiene un soporte básico, este proyecto trata de crear una pila con funciones más avanzadas, que luego puedan ser añadidas a la rama principal del *kernel* de Linux.
- LONG (<http://www.ist-long.com>): aunque recién terminado, este proyecto, financiado por la Unión Europea y liderado por españoles y portugueses, ha logrado unir los laboratorios IPv6 de algunas universidades y centros de investigación. Está muy centrado en los mecanismos de transición desde IPv4 y el porte de aplicaciones.
- Euro6IX (<http://www.euro6ix.org>): el primer intento de la Unión Europea de crear un *backbone* IPv6 nativo con el que unir varias operadoras de telecomunicaciones, universidades y consultoras europeas.
- 6NET (<http://www.6net.org>): el segundo gran proyecto europeo que intenta crear un *backbone* IPv6 nativo. Cuenta con la participación de muchas redes académicas, operadoras y fabricantes.

Soluciones IPv6

¿Cómo podemos desplegar una red IPv6 y empezar a dar servicio? ¿Qué hardware y software necesitamos?

La mayor parte de los principales fabricantes de equipos de red proporcionan soluciones para IPv6. Routers como los Hitachi, 6WIND, Telebit, Cisco, Juniper, etcétera disponen de IPv6 directamente o cambiando a alguna de las IOS que lo proveen. Incluso algunos de ellos, como 6WIND o Hitachi empiezan a basar su negocio en el buen soporte IPv6 que proporcionan.

En cuanto a sistemas operativos, todos los más extendidos lo soportan en mayor o menor medida. Probablemente el mejor soporte lo tengan los *BSD (debido a que el proyecto KAME se ha pensado para ellos), ya que proporcionan la mayor parte de las funciones avanzadas, y de hecho muchos de los routers del mercado en realidad se basan en un FreeBSD más o menos modificado.

El kernel estándar de Linux también provee un soporte básico de IPv6, aunque el kernel proporcionado por el proyecto USAGI permite muchas más cosas. La mayor parte de las distribuciones modernas incluye soporte IPv6 en mayor o menor medida, aunque casi todas se basan en el kernel estándar. Otros sistemas, como Windows XP, Windows .NET o Solaris también incorporan una pila IPv6 perfectamente usable, aunque los proyectos Open Source sean los que más funciones incorporan.

Respecto a las aplicaciones, hay soporte IPv6 para casi cualquier cosa de las que queremos hacer habitualmente. Apache, Netscape/Mozilla, MS Internet Explorer, sendmail, bind, quake2, clientes y servidores de FTP, clientes y servidores de IRC,... todos ellos son ejemplo de aplicaciones que ya incorporan soporte IPv6.