

PROCEDIMIENTO PARA LA MIGRACIÓN A IPV6 CON SELECCIÓN DEL MECANISMO DE MIGRACIÓN

Shirley Roche Oliva¹, Rubén Rosquete Toledo², Caridad Anías Calderón³, José Elías Martín⁴, Noslen Lorenzo Hernández⁵

¹Solintel S.A, Inmobiliaria Palco, Vedado, La Habana, ²Movitel, esq. 49 A. Kholy, Playa, La Habana,
³Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), Marianao, La Habana, ^{4,5}
Tecnomática, Ave. Carlos III, Centro Habana, La Habana

¹e-mail: shirleyrocheo@gmail.com, ²e-mail: rubenrosquetetoledo@gmail.com, ³e-mail: cacha@tesla.cujae.edu.cu, ⁴e-mail: elias@tm.cupet.cu, ⁵email:noslen@tm.cupet.cu

RESUMEN

El Protocolo de Internet versión 6 (Internet Protocol version 6, IPv6 por sus siglas en inglés) es un estándar conocido globalmente, que ha sido desplegado con éxito en múltiples redes. Surge como solución al agotamiento de direcciones ante una Internet donde cada vez son más los dispositivos y usuarios que se conectan a la red y consumen sus diferentes recursos. Como la mayor parte de la infraestructura de Internet está basada en IPv4, el cual no es compatible con IPv6, la migración hacia esta nueva versión del protocolo IP, no es un proceso inmediato ni simple por lo que muchos operadores han postergado su despliegue. La adopción del nuevo protocolo representa un costo económico para muchas instituciones en cuanto a la capacitación; el cambio de tecnologías, aplicaciones y/o protocolos bases y la paralización de las actividades durante el periodo de migración, lo cual afecta a los servicios que ofrecen dichas instituciones. Hoy la interrogante de muchas organizaciones es cómo migrar su red a IPv6 sin que ello represente pérdidas en sus metas de negocio. A esto da respuesta este trabajo en el cual, a partir de las características de la red, se plantea un procedimiento que establece los elementos que se deben tener en cuenta y los pasos que se deben seguir para la migración de la red de cualquier institución. La propuesta realizada fue aplicada en la empresa cubana Tecnomática, teniendo en cuenta sus necesidades y requerimientos tanto técnicos como económicos, lo que permite la validación del procedimiento planteado.

PALABRAS CLAVES: IPv6, mecanismo, migración, procedimiento.

PROCEDURE FOR THE MIGRATION TO IPV6 WITH SELECTION OF THE MECHANISM OF MIGRATION

ABSTRACT

Internet Protocol version 6 (Internet Protocol version 6, IPv6) is a globally known standard which is successfully deployed in multiple environments. This standard arises as a solution to the exhaustion of addresses on Internet services, where more and more devices and users are connected to the network and use their different resources. Since most of the Internet infrastructure is based on IPv4, which is not compatible with IPv6, the migration is not an

immediate or simple process and many operators have postponed their deployment. Typically, adopting a new protocol is economically expensive for many institutions in terms of personal capacitation, technology updates, applications to run, base protocols and the temporally affectation of network functionalities during the migration period, which represents a loss on offered services by these institutions. Currently, main concern for many organizations is how to migrate their network to IPv6 without incurring into losses in their business goals. To bring further insights to answer this question, this paper offers a procedure to provide main resources and the scheduled steps to follow in order to migrate the network of any institution successfully. This procedure includes the selection of the most appropriate mechanism to be used in accordance with main characteristics of the network. The proposal made was applied in the Cuban company Tecnomática, taking into consideration the technical and economic requirements. This allowed to validate the procedure here offered.

KEY WORDS: IPv6, mechanism, migration, procedure.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando surgió Internet no se contaba con el vertiginoso crecimiento que ha alcanzado esta red en la actualidad, donde muchos son los dispositivos (tabletas, teléfonos inteligentes, laptops, equipos electrodomésticos, teléfonos IP, entre otros) que acceden a Internet. Esto se debe, entre otros, al surgimiento de tendencias tecnológicas como Trae tu propio dispositivo (Bring Your Own Device, BYOD por sus siglas en inglés), Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT por sus siglas en inglés), a la disminución de las brechas tecnológicas, a la convergencia a redes todo IP y al aumento demográfico mundial.

El direccionamiento de los dispositivos ha estado basado por muchos años en IPv4 (Protocolo de Internet versión 4), la cual fue la primera versión IP desplegada a gran escala. IPv4 cumplió su propósito hasta los primeros años de la década de los noventa del siglo pasado, el cual no resulta ya útil para direccionar el número creciente de dispositivos que consumen los recursos de Internet. Ante esta realidad, IPv6 se presenta como la mejor solución a la escasez de direcciones IP existente frente a un Internet creciente y en desarrollo. Sin embargo, existen diversos métodos de migración de una red IPv4 a IPv6, no estando claro cuál escoger y cómo llevar a cabo este proceso sin que ello represente pérdidas en las metas de negocio de las organizaciones en que se lleva a cabo la migración. De ahí que en el presente trabajo se propone un procedimiento para la migración de IPv6 que permite seleccionar el método de migración adecuado según las características de la red.

PROTOCOLO DE INTERNET VERSION 6

Principales causas del surgimiento de IPv6

Desde 1992, con el crecimiento de Internet y del número de dispositivos capaces de conectarse a esta red, se comenzó a llegar a los límites de direccionamiento de IPv4. De

hecho, esta situación se hizo realidad en febrero del 2011 cuando la Autoridad de la Asignación de Números de Internet (Internet Assigned Numbers Authority, IANA por sus siglas en inglés) hizo conocer que se habían agotados las direcciones a repartir [1]. Debido a esto, el Equipo de Ingeniería de Internet (Internet Engineering Task Force, IETF por sus siglas en inglés) en diciembre de 1995 presentó el primer estándar de IPv6 (RFC 1883) y en 1998 ofrecía una actualización a IPv6 (RFC 2460) [2].

Para evitar el agotamiento brusco del espacio de direcciones aparecieron diferentes tecnologías que han extendido la vida del protocolo IPv4. Estas nuevas tecnologías han ofrecido un margen de tiempo para la confección y análisis de estándares, y escenarios de prueba que faciliten la transición hacia el nuevo protocolo IPv6. El empleo del Traductor de Direcciones de Red (Network Address Translator, NAT por sus siglas en inglés) es de todos el más común, pero, aunque brinda una solución aparente al agotamiento de direcciones, provoca que no se pueda recuperar la esencia de conectividad pura de Internet, afectada con el empleo de NAT en IPv4.

Nuevas características introducidas por IPv6

Definido en el actual RFC 8200 [2], el protocolo IPv6 presenta mejoras y ofrece simplicidades que lo hacen superior a IPv4 en muchos aspectos. El nuevo espacio de direcciones IPv6 de 128 bits permite que los dispositivos en Internet tengan múltiples direcciones únicas y facilita la conectividad E2E (Extremo a Extremo) sin la necesidad de utilizar NAT. Además, garantiza que los nodos conectados a una red ruteada en IPv6 sean capaces de auto-asignarse direcciones IPv6 utilizando los mensajes de descubrimiento de routers. IPv6 posee un nuevo formato de cabecera en donde se eliminan los campos que eran poco usados en la práctica con el propósito de disminuir el procesamiento. El nuevo paquete IPv6 está compuesto por la cabecera (cabecera principal y cabeceras de extensión) y la carga útil (datos). Se dispone de extensiones para soportar la autenticación, la integridad de datos y la confiabilidad. Dichas cabeceras de extensión permiten añadir información y optimizar los enrutadores intermedios ya que ofrecen eficiencia en el reenvío al procesar la información mínima necesaria. Además, IPv6 presenta un mejor soporte de Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS por sus siglas en inglés) y es más seguro que IPv4 ya que introduce autenticación y cifrado en la capa IP.

Mecanismos de migración a IPv6

La existencia de técnicas para evitar el agotamiento brusco de direcciones IP, junto con la incompatibilidad entre las dos versiones IP, han dificultado y atrasado el proceso de transición hacia el nuevo protocolo con respecto a lo esperado. Es importante aclarar que la migración de redes IPv4 a IPv6 no necesariamente tiene que ser total. La clave del éxito de este proceso radica en lograr, inicialmente, la coexistencia de ambos protocolos en una misma red, evitando que se afecten los servicios brindados y permitiendo que de forma gradual estos sean migrados a IPv6.

Existen diferentes tecnologías o mecanismos para lograr la migración a IPv6 y cada uno garantiza un cierto nivel de seguridad y escalabilidad. Se destacan tres mecanismos para esta migración: Pila Doble, Túnel y Traducción. La Doble Pila, en inglés Dual Stack, posibilita

que un nodo localizado en una red IPv6, con ambos protocolos IP habilitados, sea capaz de comunicarse con un usuario IPv4 en una red IPv4. Esta técnica consiste en la existencia de una capa IP dual en todos los dispositivos Doble Pila de la red. En este caso, ambas versiones del protocolo son soportadas simultáneamente, de tal manera que pueden gestionar tanto paquetes IPv4 como IPv6. Por su parte, la técnica de tunelización permite la creación de un túnel que posibilita, mediante el encapsulamiento de paquetes, comunicar redes y nodos IPv6 sobre una red donde la infraestructura está mayormente basada en IPv4. Existen muchas tecnologías de túneles disponibles que se diferencian en el método usado por los nodos encapsuladores para determinar la dirección a la salida del túnel y son soportados por plataformas como CISCO, Linux, Juniper, Windows y otros. Por otro lado, la Traducción es el mecanismo de conversión de encabezados de protocolos entre un nodo IPv6 y uno IPv4. Las traducciones al realizar la conversión de paquetes IP (entre IPv6 e IPv4) a menudo provocan la alteración de los paquetes, pues pueden ocurrir pérdida de atributos o información, a diferencia de los túneles, que no modifican el datagrama.

Los dispositivos doble pila, los túneles y los traductores funcionan como base para una serie de otros mecanismos que realizan una migración más adaptable a las distintas características de las redes actuales, como: NAT64, Sistema de Nombre de Dominio 64 (Domain Name System 64, DNS64 por sus siglas en inglés), Traducción 464 al Lado del Cliente/Proveedor (464 Provider/Customer-side Translator, 464XLAT por sus siglas en inglés), Doble Pila-Ligera (Dual Stack-Lite, DS-Lite por sus siglas en inglés) y el Mapeo de Direcciones y Puertos (Mapping of Addressing and Port, MAP por sus siglas en inglés) [3]. La elección del mecanismo de migración que más se ajuste a cada red es vital pues determinará la optimización de todo el proceso.

Adopción de IPv6 en la actualidad

Se pudiera decir que hoy existe un gran esfuerzo a nivel mundial para garantizar el desarrollo de IPv6 y su inserción en las redes existentes. Cada vez son más los países que participan en diversos programas experimentales, de prueba y entrenamientos relacionados con IPv6. El 6 de junio del 2012, se llevó a cabo el lanzamiento mundial de IPv6 [4], mediante la estrategia de la Sociedad de Internet (Internet Society), denominada World IPv6 Launch. Según la Sociedad de Internet (Internet Society) la migración a IPv6 ha sido encabezada por empresas como Google, Facebook, APNIC, Yahoo!, Akamai y LinkedIn. También existen otras instituciones que han introducido IPv6 en sus redes como por ejemplo: Cisco [5], Hurricane Electric [6]; la European Organization for Nuclear Research en Suiza que introdujo IPv6 en su red desde el 2001 [7] y la compañía estadounidense T-Mobile que implementó la técnica 464XLAT para su transición [8]. Hasta el 2018, solo 22 países han migrado más de un 10% de su red y un total de 220 países operan solo con IPv4 [9]. El método más utilizado actualmente para la migración es la tunelización que permite la existencia de varios protocolos IP en la red.

PROCEDIMIENTO PARA LA MIGRACION A IPV6 CON SELECCIÓN DEL MECANISMO DE MIGRACION

Aunque IPv6 está desplegado exitosamente en varios escenarios por las ventajas que ofrece, la migración a este protocolo representa un costo económico para muchas organizaciones que se ven obligadas a detener sus servicios de red, capacitar al personal de trabajo y hacer cambios en su infraestructura, entre otras afectaciones. Para disminuir y enfrenar esto, en este trabajo se propone un procedimiento que da respuestas a interrogantes como: ¿cuáles son los pasos a seguir para que la migración a IPv6 no se convierta en pérdidas para las metas de negocio?, ¿cuál de los mecanismos de migración existentes es el más adaptable a las características de la red? y ¿se debe escoger un mecanismo o varios? En la Fig. 1 se presentan las fases de dicho procedimiento, las cuales se detallan a continuación. Este procedimiento puede ser aplicado tanto por un Proveedor de Servicio de Internet (Internet Service Provider, ISP por sus siglas en inglés) como por otras organizaciones. El mismo hace énfasis en la selección del o de los mecanismos de migración a IPv6 que más se adapten a las características de la red existente y tiene en cuenta las políticas vigentes para dicha migración en el país o región donde opera [10].

Fase 1	•Objetivos y requisitos de la migración
Fase 2	•Caracterización de la red a migrar
Fase 3	•Evaluación de la posibilidad de migrar
Fase 4	•Preparación de la migración
Fase 5	•Selección del o de los mecanismos de migración
Fase 6	•Comprobación mediante simulación
Fase 7	•Implementación del o de los mecanismos de migración elegidos
Fase 8	•Consideración de la migración total
Fase 9	•Optimización y documentación

Figura 1: Estructura general del procedimiento propuesto [10].

Fase 1: Objetivos y requisitos de la migración

En la figura 2 se puede apreciar la primera fase considerada en el procedimiento. En la misma se incluye el análisis de los objetivos o metas que persigue la organización donde se va a realizar la migración, así como los requerimientos técnicos de la red a migrar.



Figura 2: Fase 1 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

Al realizar cualquier variación a las características de una red determinada, se deben analizar minuciosamente las afectaciones que esta puede provocar. Hacer esto es muy importante cuando se desea migrar la infraestructura de la red IPv4 a IPv6. Por lo anterior, analizar las metas de negocio es el primer paso del procedimiento. Las típicas metas de negocio de las organizaciones de hoy son: incrementar las ganancias, reducir costos de operaciones, mejorar la comunicación, expandirse a mercados internacionales, hacer asociaciones con otras organizaciones, ofrecer mejor soporte a los clientes e introducir nuevos servicios, entre otras. Muchas organizaciones están conscientes de que, si en el futuro desean continuar en su negocio y adoptar los nuevos servicios que ofrecen tecnologías como IoT, deben migrar a IPv6 porque de no hacerlo tendrían pérdidas y se estarían cerrando las puertas al nuevo Internet, donde todo estará conectado. Por tanto, una empresa que desee estar presente a nivel global deberá estar preparada para soportar la tecnología IPv6.

Otro punto relevante en la Fase 1 es el análisis de los requerimientos técnicos de la red que será expuesta al proceso de transición e integración IPv4/IPv6. El estudio y determinación de las metas técnicas permitirá conocer los requerimientos técnicos a tener en cuenta al realizar la migración a IPv6, los cuales influirán en la posterior selección del mecanismo a emplear. Los principales requerimientos no funcionales a considerar son: escalabilidad, disponibilidad, desempeño, seguridad y facilidad de gestión [10].

Fase 2: Caracterización de la red a migrar

Después de haber revisado las metas técnicas y de negocio, se debe caracterizar la red IPv4 existente, en cuanto a infraestructura lógica y física, lo cual se ilustra en la Fig. 3. En esta fase, se recopila la información técnica que permitirá hacer una evaluación de la situación actual de la red en cuestión y conocer qué parte de la infraestructura está preparada o puede ser migrada al nuevo protocolo.

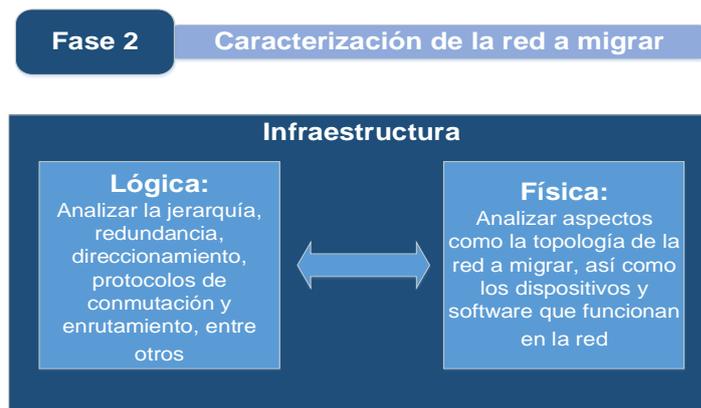


Figura 3: Fase 2 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

El análisis de la infraestructura lógica es un paso que permitirá determinar la arquitectura de la red, que puede ser jerárquica si se pueden diferenciar o distinguir las capas de núcleo, de distribución y de acceso, lo cual es útil para analizar sobre qué parte de la red se desea o se puede migrar a IPv6. Esto también se debe tener presente cuando es necesario demandar nuevos dispositivos de interconexión con soporte IPv6 pues permite adquirir los adecuados para cada capa de la jerarquía, y así ahorrar costos en características innecesarias. En general, conocer la arquitectura de la red facilita cambios y minimiza los costos. Además, el análisis de la infraestructura lógica será útil para definir aspectos como la redundancia existente, el direccionamiento y nombres de dominio empleados, los protocolos de conmutación y enrutamiento y los mecanismos que dan soporte a la infraestructura.

Se debe determinar si el diseño sigue un modelo redundante, es decir, si se cuenta con elementos en la red duplicados o enlaces redundantes lo cual elimina los puntos de fallo único en la arquitectura, elevando el índice de disponibilidad. También deben ser estudiados las estrategias empleadas en la organización para el direccionamiento y los nombres de dominio.

Caracterizar la infraestructura lógica incluye también el análisis de los protocolos de conmutación y enrutamiento empleados en la red existente. Para los protocolos Sistema Intermedio a Sistema Intermedio (Intermediate System to Intermediate System, IS-IS por sus siglas en inglés) y Protocolo de Gateway de Borde (Border Gateway Protocol, BGP por sus siglas en inglés), no se ha creado una versión para IPv6, sino que se le han añadido extensiones y nuevas funciones a la versión existente para IPv4.

Se propone verificar la existencia de Redes de Área Local Virtuales (Virtual Local Area Networks, VLANs por sus siglas en inglés), VPNs, QoS, Multiprotocolo de Conmutación de Etiquetas (Multi-Protocolo Label Switching, MPLS por sus siglas en inglés), entre otros mecanismos que pueden ser empleados en la infraestructura. Este es un paso que influye en la elección del método de transición a emplear, ya que durante el desarrollo de IPv6 se han creado diferentes tecnologías para la transición, algunas de ellas surgidas para ser adaptadas a ambientes específicos.

Después de profundizar en los distintos aspectos de la infraestructura lógica, se debe analizar la física. El análisis de la infraestructura física, requiere un inventario de todos los dispositivos existentes, incluyendo los de interconexión como enrutadores, conmutadores, cortafuegos, balanceadores de carga, entre otros, así como los softwares que funcionan en la red, lo que permitirá conocer sus principales características y funcionalidades. Los datos recopilados serán utilizados para determinar qué dispositivos y softwares soportan IPv6 y cuáles no.

Fase 3: Evaluación de la posibilidad de migración

La Fase 3 es decisiva en el procedimiento propuesto ya que es donde se evaluará la posibilidad de la organización de migrar toda o parte de su infraestructura de red a IPv6. Como se puede observar en la Fig. 4, se considera que para poder integrar el protocolo IPv6 a la red existente, se debe verificar que el equipamiento con el que se cuenta soporta esta versión, información que se obtiene en la fase. Otro punto importante es determinar el nivel de capacitación del personal que opera y administra la red en cuanto a IPv6 pues son los encargados de lograr que la migración sea exitosa. Por ello, se debe conocer su nivel técnico, si han recibido cursos y/o poseen experiencia práctica en IPv6. También es necesario tener en cuenta su disposición a la superación, tanto autodidacta como en cursos. Para la integración IPv4/IPv6 y migración a IPv6, el personal debe tener conocimientos de: IPv6 (estructura de paquetes, funcionamiento, características); direccionamiento y enrutamiento IPv6; y métodos de migración y su configuración. Aún con los recursos materiales necesarios, si no se cuenta con los recursos humanos capacitados o la posibilidad para capacitarlos tampoco será posible la migración a IPv6.

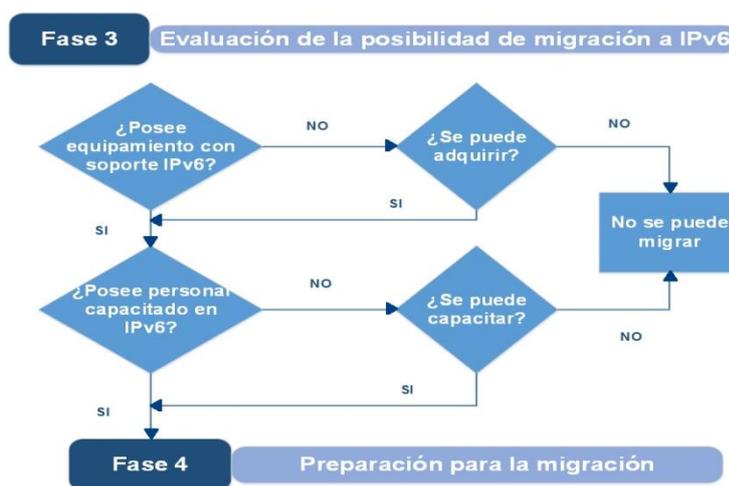


Figura 4: Fase 3 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

Fase 4: Preparación de la migración

Una vez determinado que la organización tiene posibilidad de migrar a IPv6, comienza la etapa de preparación de la red para dicha migración para lo cual se deben considerar los pasos que se proponen en la Fig. 5, donde lo primero que se debe tener presente es qué parte de la red, en el momento del análisis, se desea o se puede migrar ya que de ello dependerá el resto de los pasos a seguir. Se propone que se determine si la migración será realizada en las capas de acceso, distribución, backbone y/o en todas las instancias de la red. Se recomienda migrar primero el backbone hasta llegar a las conexiones de usuarios para que la transición sea lo menos abrupta posible.



Figura 5: Fase 4 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

Cuando se haya determinado en qué parte de la red se realizará la migración IPv6 y se conozcan sus características (Fase 2), se procederá a seleccionar el hardware y software que intervendrán en la migración. Los dispositivos pueden ser los mismos con los que contaba la red o ser de nueva adquisición, debido a la incompatibilidad de los antiguos con IPv6 o por cualquier otro motivo que lleve a la organización a invertir en equipamiento. En caso de que se trabaje con dispositivos nuevos, que deben ser adquiridos después de analizar profundamente sus características, es necesario garantizar que cumplen, entre otros, con los requisitos previstos para su operación con IPv6; por ejemplo, que soporten los mecanismos de transición a IPv6 más empleados y, por supuesto, que sean compatibles con los protocolos y reglas que se requieran. Es importante aclarar que estos requisitos también deben garantizarse en los dispositivos que se decidan reutilizar. Adicionalmente, es necesario tener presente que muchas redes operan con aplicaciones que no han sido diseñadas para aprovechar las nuevas características de IPv6, por lo que se debe realizar la actualización de las mismas.

Después del análisis de los dispositivos seleccionados para la migración a IPv6, se procederá a obtener el espacio de direcciones IPv6 a desplegar para desarrollar el plan de direccionamiento. La forma de solicitar un espacio de direcciones depende en gran medida del tipo de organización en cuestión. Los ISP y algunos grandes usuarios finales como universidades, bancos o grandes corporaciones, podrán solicitar prefijos IPv6 al Registro Regional de Internet (Regional Internet Registry, RIR por sus siglas en inglés) que les corresponda. Sin embargo, la mayoría de los sistemas empresariales deberán solicitar sus direcciones IPv6 a sus respectivos ISP los que deberán soportar este protocolo. Si las direcciones IPv6 se solicitan directamente al RIR de la región se debe averiguar cuál es el procedimiento que tiene establecido para ello, pues cada RIR posee el suyo.

Una vez se obtenga el espacio de direcciones a desplegar, se realizará un plan de direccionamiento muy similar al que se realiza con IPv4, siendo necesario anticipar el crecimiento físico de las redes, debiéndose elegir esquemas de direccionamiento que permitan la escalabilidad y que sigan un esquema jerárquico [10]. Con respecto al enrutamiento, se debe considerar las necesidades y requisitos de la red a migrar. Es importante tener en cuenta la sumarización de rutas estáticas para que disminuyan las entradas en las tablas de rutas. Este proceso permite reducir múltiples rutas estáticas en una única ruta, siempre que las redes de destino se pueden resumir en una sola dirección de red y si todas las rutas estáticas utilizan la misma interfaz de salida o la dirección IP del siguiente salto. Las tablas de rutas reducidas garantizan una mayor eficiencia y optimización en el enrutamiento y una disminución de los requisitos de memoria de los routers.

En el caso del enrutamiento dinámico, se deben emplear protocolos de enrutamiento actualizados para que manejen tráfico IPv6. Otro factor a destacar en la migración a IPv6 es la seguridad que debe estar garantizada en todas las fases de la transición de la tecnología, desde que se está planeando todo el proceso hasta su implementación y posterior monitorización, sobre todo en la etapa en la que coexisten ambas versiones del protocolo IP ya que la red está expuesta a ataques tanto en IPv4 como en IPv6.

Fase 5: Selección del o de los mecanismos de migración

En esta fase, como su nombre lo indica, se debe elegir el o los mecanismos para la migración de una red a IPv6. Para ello se propone revisar los mecanismos existentes, su uso recomendado, las ventajas y desventajas que presenta y los requisitos para su implementación (ver Fig. 6).

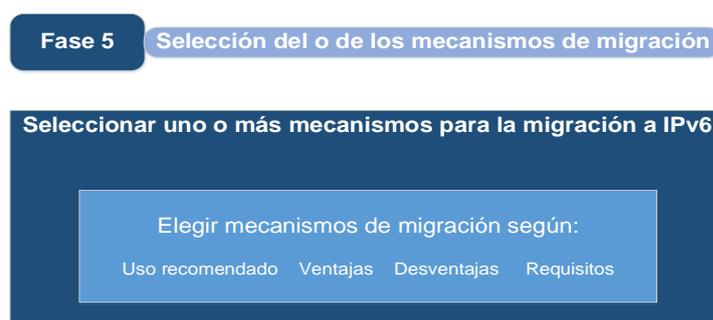


Figura 6: Fase 5 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

En [10] se encuentra una tabla elaborada por los autores de este trabajo que sirve de guía para seleccionar uno o más mecanismos de migración según las necesidades y características de la red a migrar. En dicha tabla se tienen en cuenta los mecanismos que, actualmente, son

los más implementados ya que algunos como 6to4, Teredo e ISATAP se usan cada vez menos [3], pudiéndose considerar obsoletos.

Es importante, en el momento de elegir el o los mecanismos de migración, tener presente en qué parte de la red se efectuará la migración para así seleccionar los mecanismos que cumplan con los requisitos de seguridad y escalabilidad que se requieran. Además, se debe tener presente que al emplear túneles se tiene la desventaja del retardo debido al encapsulamiento/desencapsulamiento de paquetes. Otra desventaja de este mecanismo de migración es el aumento de tráfico en la red ya que para encapsular un paquete IPv6 en un IPv4 se necesita la fragmentación del paquete IPv6. No obstante, los túneles son muy utilizados como mecanismo de transición. Por otro lado, el método de traducción es el mecanismo de migración a IPv6 menos desplegado en la actualidad, debido a la pérdida de información que ocurre durante la traducción.

Fase 6: Comprobar mediante simulación

En esta fase, se propone obtener y evaluar resultados preliminares para determinar si el o los mecanismos de migración seleccionados son los que mejor se adaptan a la red y analizar qué tal funcionan los mismos. Para ello se plantea el empleo de la simulación, siguiendo los pasos que se muestran en la Fig. 7.

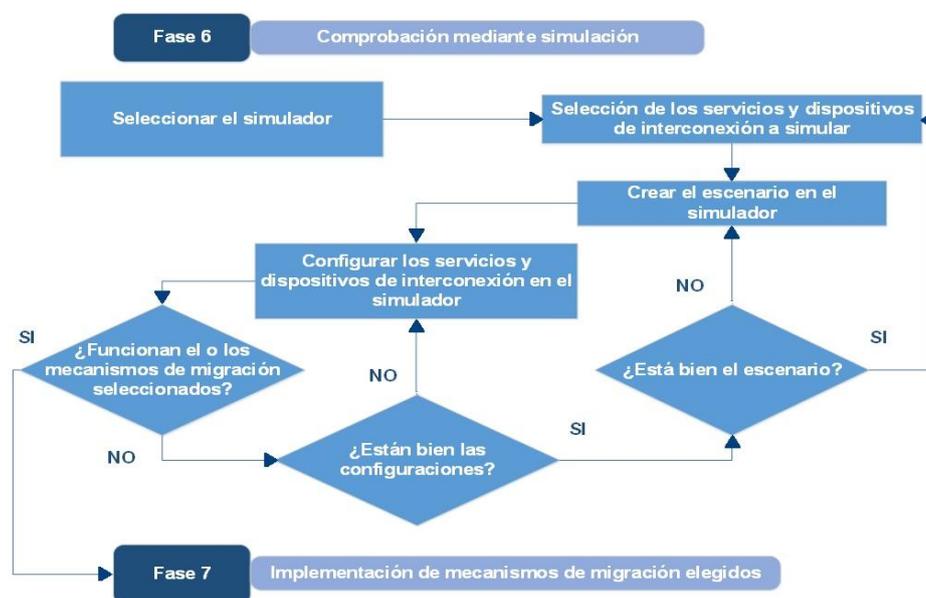


Figura 7: Fase 6 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

El primer paso será seleccionar una herramienta de simulación o software que tenga soporte para IPv6. Por ejemplo, podrá emplearse para la simulación Packet Tracer o GNS3 [3]. Se deberá seleccionar los servicios y dispositivos de interconexión que serán simulados en dicha herramienta. Cuando se haya creado el escenario en el simulador, se deberán realizar las configuraciones pertinentes para cada servicio y en cada uno de los dispositivos de

interconexión simulados, incluyendo el mecanismo de migración a IPv6 que se adoptará. La simulación es el recurso idóneo para determinar el funcionamiento del mecanismo de migración, sin afectar la red real y sus servicios.

En caso de que el escenario a prueba funcione correctamente se avanzará a la próxima fase, de lo contrario se deberán analizar los posibles factores que afecten su funcionamiento. Esto podría ocurrir debido a: configuraciones incorrectas, problemas con el diseño del escenario o selección errónea de los dispositivos. Después de haber verificado el correcto funcionamiento de los mecanismos de migración seleccionados e identificados y corregidos los problemas, se podrá continuar con la próxima fase.

Fase 7: Implementación del o de los mecanismos de migración elegidos

La red se deberá construir de acuerdo a las especificaciones de diseño previamente analizadas y que incluyen los mecanismos de migración. Dichas especificaciones variarán en dependencia de las organizaciones donde se analicen. En la Fig. 8 se muestran los pasos a seguir para llevar a cabo la implementación de los mecanismos de migración seleccionados. Cuando se hayan implementado los mecanismos seleccionados para migrar, las políticas de enrutamiento y seguridad definidas en la fase 4 y habilitado los servicios pertinentes, deberá realizarse una Prueba Piloto para verificar si la propuesta cumple con las metas técnicas y del negocio de la organización, pues en caso de no cumplirlas se deberá volver a seleccionar el o los mecanismos de migración a emplear.

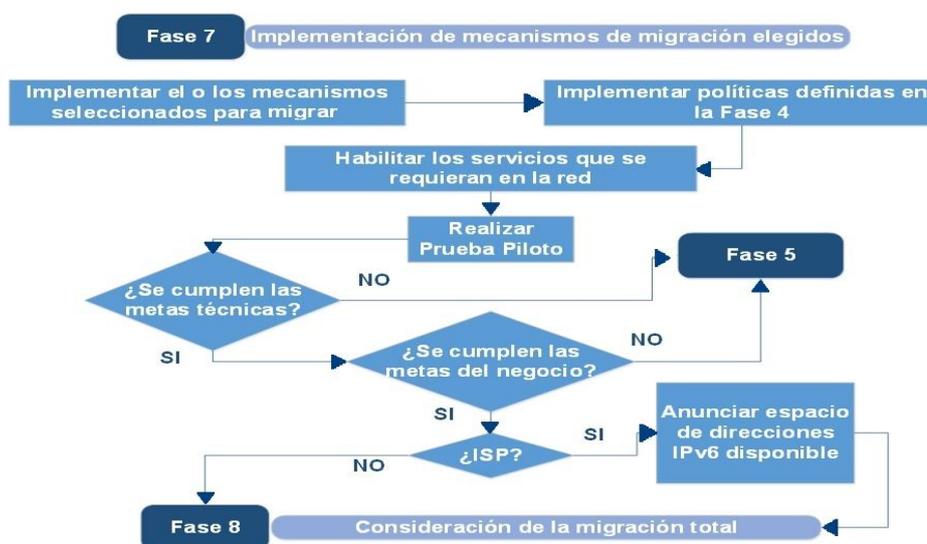


Figura 8: Fase 7 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

Probar el correcto funcionamiento de la red migrada puesta en funcionamiento será útil para determinar las técnicas de optimización que sean necesarias. Para ello debe evaluarse cada uno de los requerimientos técnicos que exigía la red, proponiéndose el empleo de herramientas de gestión [3] que permitan analizar tráfico IPv6 y detectar cualquier anomalía como embotellamientos y problemas de conectividad, entre otros. Si el modelo propuesto cumple con los objetivos y requisitos analizados en la fase inicial, se pasará a la siguiente fase; pero si es un ISP antes deberá anunciar el espacio de direcciones IPv6 que ofrece para que sus clientes puedan solicitar estas direcciones en su red.

Fase 8 Consideración de la migración total

En el procedimiento que se propone se considera la migración total de la red como una fase opcional que no necesariamente debe cumplirse en un periodo de tiempo corto. Lo que se quiere decir es que, si por cualquier motivo, no se cuenta, por ejemplo, con el equipamiento necesario y el presupuesto suficiente para realizar la migración total, se puede migrar a corto plazo las secciones de red que sí lo permiten y continuar trabajando en función de la migración de toda la red en un futuro. En la Fig. 9 se muestran los pasos considerados en esta fase.

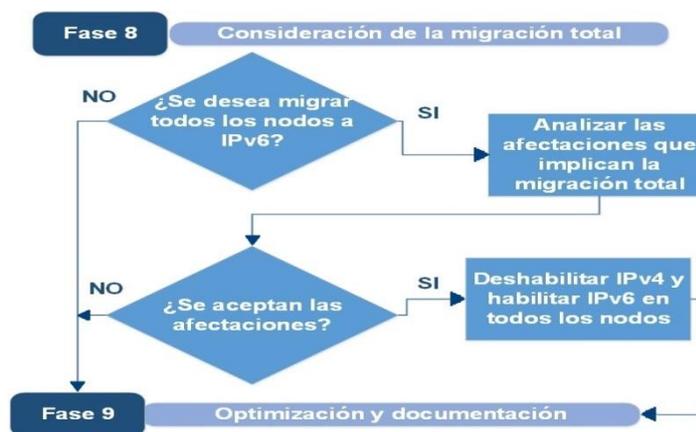


Figura 9: Fase 8 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

Hasta que el despliegue de IPv6 no sea total y universal, disponer de conectividad exclusiva IPv6 sin IPv4 no es útil, pues muchísimos recursos no soportan IPv6. En caso de que el despliegue de IPv6 sea total en una red en la misma se deben implementar mecanismos de conversión para lograr la comunicación con las redes que solo poseen IPv4. Una vez logrado la migración total y universal, es importante que se inhabilite IPv4 y solo se opere con IPv6 para no cargar la red con el tráfico de las dos versiones del protocolo y para que la red sea más segura. Para entonces IPv4 no tendrá sentido de existir, ya que todas sus funciones serían sustituidas y mejoradas por IPv6.

Fase 9: Optimización y documentación

Esta fase es muy importante no solo en la migración a IPv6 sino siempre que se realicen cambios o modificaciones en cualquier tipo de red. En esta fase, como se muestra en la Fig.

10, se ha considerado la optimización de la red y de los servicios migrados, así como la documentación de los cambios realizados.

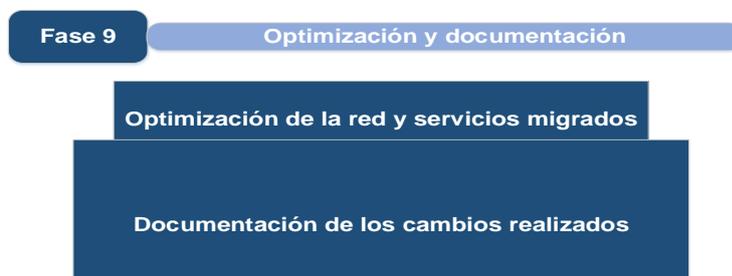


Figura 10: Fase 9 del procedimiento para la migración a IPv6 [10].

La optimización de la red migrada permitirá que la misma trabaje de manera más eficiente y que los cambios realizados en su infraestructura y servicios no afecten su correcto funcionamiento. Para la optimización se deberá monitorizar la red no solo después de finalizada la migración, sino de forma constante con el objetivo de garantizar el óptimo funcionamiento de la misma. Para la monitorización se deben seleccionar diferentes parámetros, tal y como se hacía con IPv4, los cuales darán una noción de cómo está trabajando la red. Algunas de las métricas de extremo a extremo que se podrían verificar son: tiempo de establecimiento de flujo, el tiempo de ida y vuelta de los paquetes (RTT) y retraso wget recursivo. Uno de los beneficios que se deben apreciar en esta fase es la ausencia del tráfico broadcast en la red migrada y de todos los inconvenientes que este tipo de tráfico suele acarrear.

Finalmente, se deben documentar todas las variaciones que sufrió la red durante el proceso de migración, lo que facilita su gestión (monitorización y control), además de ser la base para la realización de futuros trabajos en la misma. Se recomienda seguir las consideraciones descritas en el Método Top Down de Cisco para realizar dicha documentación.

APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN TECNOMÁTICA

El procedimiento propuesto fue validado, mediante simulación, en la empresa cubana Tecnomática, la cual ha decidido migrar IPv6 con el objetivo de cumplir con el marco regulatorio vigente en el país y mantener la actualización tecnológica de su red. Dicha migración les permitirá incorporar nuevos servicios y mejorar la calidad, seguridad, disponibilidad y estabilidad de los mismos, así como la gestión de la red. Como parte del procedimiento, se analizó la infraestructura de red de Tecnomática y se pudo determinar que la empresa cuenta con el equipamiento necesario y con personal capacitado para llevar a cabo la migración a IPv6.

Inicialmente, se decidió migrar el backbone con la premisa de que, una vez migrado los usuarios finales, ya el backbone esté funcionando en IPv6. Además, se determinó migrar parte de los usuarios para comprobar la conectividad IPv6 con algunos de los servicios de la red y el funcionamiento del nuevo protocolo IP. Posteriormente se procedió a definir el plan de direcciones IPv6 y las políticas de enrutamiento y seguridad que debían ser aplicadas. Como punto de partida, se elaboró el plan de direccionamiento con un bloque no real, manteniendo como discriminador de subredes el Tipo de usuario.

Los mecanismos seleccionados para llevar a cabo la migración a IPv6 fueron Doble Pila y Tunelización 6in4, los cuales fueron simulados de manera exitosa antes de su despliegue real con el propósito de verificar el funcionamiento de los mismos. La simulación fue realizada con la herramienta GNS3 donde se elaboraron tres escenarios. Además, se empleó una máquina virtual de Windows Server 2008 R2 en la cual se habilitaron los servicios de DHCP, DNS y Web. La implementación de los mecanismos de migración para la red de Tecnomática no se pudo realizar debido a un conjunto de obstáculos, por parte de la empresa, que no se pudieron resolver durante el desarrollo de este trabajo.

CONCLUSIONES

El procedimiento que se propone en este trabajo define nueve fases para llevar a cabo la migración a IPv6, cada una de las cuales considera un conjunto de pasos a seguir, para tratar de hacer la migración de manera más fácil. Se pueden identificar fases de gran importancia, como las de selección, simulación e implementación de mecanismos de migración, pues en ellas se determina el método para migrar a IPv6, se prueba su funcionamiento y se implementa la migración. Este procedimiento fue validado en la empresa Tecnomática, donde se recomienda dar continuidad a la aplicación del mismo, empezando por la implementación de los mecanismos de migración seleccionados en las partes de la red que fueron consideradas, y lograr la implementación total de IPv6.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todas las personas que de una forma u otra contribuyeron en la realización de este trabajo, sobre todo a los profesores del departamento de la Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), por su disposición ante cualquier duda y por compartir sus conocimientos. Gracias también al colectivo de Tecnomática que apoyó este trabajo.

REFERENCIAS

1. LITO IBARRA, Rafael. *Pasos hacia la adopción de IPv6* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 6 de febrero 2018]. Disponible en Web: <http://www.lacnic.net/comunidad/portaipv6/tercer foro regional sobre interconectividad, ciberseguridad e ipv6/rfc8200.pdf>>.
2. PALET, Jordi. *Estandarización IPv6. RFC 8200 (STD86)* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 11 de mayo 2018]. Disponible en Web: <http://www.lacnic.net/comunidad/portaipv6/estandarización ipv6/rfc8200.pdf>>.
3. ACOSTA, Alejandro; AGGIO, Santiago; CICLEO, Guillermo; LYNCH, Tomas; MOREIRAS, Antonio; ROCHA, Mariela; SERVIN, Arturo; BERENGUER, Sofia Silva.

- IPv6 para Operadores de Red*. Ciudad de Buenos Aires: Editorial Ebook, 2014. 121-149 pp. ISBN 978-987-45725-0-9.
4. LACNIC. *Lanzamiento mundial de IPv6* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 4 de abril 2018]. Disponible en Web: <http://www.lacnic.net/comunidad/portaipv6/lanzamiento-mundial-de-ipv6.html>>.
 5. CISCO. *How Cisco IT Is Accelerating Adoption of IPv6* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 25 de abril 2018]. Disponible en Web: <http://www.cisco.com/go/ciscoit/how-cisco-it-is-accelerating-adoption-of-ipv6.pdf>>.
 6. Internet Society. *Case Study: Hurricane Electric* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 28 de marzo 2018]. Disponible en Web: <https://www.internetsociety.org/resources/deploy360/2011/case-study-hurricane-electric-3.html>>.
 7. Internet Society. *Case Study: IPv6 Deployment at CERN* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 28 de marzo 2018]. Disponible en Web: <https://www.internetsociety.org/resources/deploy360/2014/case-study-ipv6-deployment-at-cern.html>>.
 8. Internet Society. *Case Study: T-Mobile US goes IPv6-only using 464XLAT* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 28 de marzo 2018]. Disponible en Web: <https://www.internetsociety.org/resources/deploy360/2014/case-study-t-mobile-us-goes-ipv6-only-using-464xlat.html>>.
 9. AKAMAI. *IPv6 Traffic Volume/Akamai* [en línea]. New Providence, N.J.: RR Bowker, s.d. [ref. de 2 de marzo 2018]. Disponible en Web: <https://www.akamai.com/uk/en/solutions/intelligent-platform/visualizing-akamai/ipv6-traffic-volume.jsp>>
 10. ROCHE OLIVA, Shirley; “ROSQUETE TOLEDO, Rubén. Procedimiento para la migración a IPv6 con selección del mecanismo de migración”. Director Caridad Anías Calderón. Tesis en opción al título de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de La Habana Fosé Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, 2018.

SOBRE LOS AUTORES

Shirley Roche Oliva, Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Actualmente es Especialista Principal en Redes de Datos en Solintel.

Rubén Rosquete Toledo, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Actualmente adiestrado en Movitel.

Caridad Anías Calderón, Doctora en Ciencias Técnicas, Máster en Telemática e Ingeniera en Telecomunicaciones. Profesora Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Presidenta de la Comisión Nacional de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica y jefa de grupo de investigación.

José Elías Martín, Técnico Informático. Actualmente trabajador de la UEB Gestión de Infocomunicaciones de la empresa Tecnomática, perteneciente a la Unión CUPET.

Noslen Lorenzo Hernández, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Actualmente director de la UEB Gestión de Infocomunicaciones de la empresa Tecnomática, perteneciente a la Unión CUPET