

Migración a Direccionamiento IPv6 para un Campus Universitario

Migration to IPv6 Addressing for a University Campus

Rossina Isabel Gonzales Calienes^{1,a}, Rafael Bustamante Alvarez^{1,b}

Resumen— En el presente artículo se propone un plan de transición del protocolo IPv4 al protocolo IPv6 para su implementación en un campus universitario. Se expone acerca de los factores y consideraciones para el despliegue del protocolo IPv6 que constituye un entorno que estimula la transición. Además, se presenta una simulación de un escenario de red donde se implementa el mecanismo de transición Dual Stack para realizar un análisis comparativo entre el protocolo IPv4 y el protocolo IPv6 con respecto a la latencia.

Abstract— This article proposes a transition plan from the IPv4 protocol to the IPv6 protocol for its implementation on a university campus. It exposes about the factors and considerations for the deployment of the IPv6 protocol that constitutes an environment that stimulates the transition. In addition, a simulation of a network scenario where the Dual Stack transition mechanism is implemented is presented to carry out a comparative analysis between the IPv4 protocol and the IPv6 protocol with respect to latency.

Palabras Claves— IoT, QoS, Dual Stack, latencia, IPv6, IPv4

Key Words— IoT, QoS, Dual Stack, latency, IPv6, IPv4

Presentado: 20/07/2023

Aceptado: 12/12/2023

Publicado: 22/07/2024

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

^a Autor de correspondencia: rgonzalescl@unmsm.edu.pe
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6353-2712>

^b Email: rbustamantea@unmsm.edu.pe
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3208-9356>

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el agotamiento de las direcciones de IPv4 es un problema insoslayable, para lo cual la única alternativa es la migración a direcciones IPv6 [1], es decir la transición. El proceso de la transición en el caso particular de un campus universitario se considera importante porque permitiría que las actividades académicas, investigación y gestión institucional sean seguras y rápidas. En cuanto a la gestión, está relacionado a la seguridad de la información que la universidad administra para sus procesos, así como la velocidad de los procedimientos mediante la mayor rapidez en el manejo de las bases de datos. En relación con la investigación permitirá la conexión con otras universidades que ya tienen implementado el protocolo IPv6 y el desarrollo de investigaciones con relación a tecnologías como: Internet de las Cosas, redes 5G, Industria 4.0, ciudades digitales, telemedicina, teleeducación y otros.

El artículo presenta los factores y consideraciones que conlleven al despliegue de IPv6, luego se presenta una

simulación del mecanismo Dual Stack para realizar un análisis comparativo entre el protocolo IPv4 e IPv6 con respecto a latencia. Finalmente, se presenta el plan de transición de IPv4 a IPv6 para un campus universitario.

A. Antecedentes

Manyay&Olivera [2] afirman que su investigación dado el agotamiento de las direcciones IPv4, tuvo la finalidad de implementar una red más segura, rápida y moderna para ello propone la transición del IPv4 a IPv6 de la red del campus de la Universidad Pedro Ruiz Gallo.

Biju [3] expone que IPv6 proporciona más espacio de direcciones, diseño de direcciones mejorado y mayor seguridad que IPv4. En esta investigación se propone la simulación y análisis de dos mecanismos de transición como son el mecanismo de Double Stack y Túnel, mediante el simulador Packed Tracer de CISCO.

ETSI GR IP6 [4] publica la descripción de cada procedimiento de transición genérica de IPv4 a IPv6 que incluye razón de la transición, aspectos tecnológicos, pasos de transición genéricos, implicancias de seguridad. Se menciona una mayor cantidad de procedimientos de migración de las que ya se conoce.

Narayan [5] en esta investigación, se realiza una evaluación empírica del rendimiento o throughput de IPv4 e IPv6 en un banco de pruebas de enrutadores Cisco. El número de los enrutadores físicos se incrementaron de dos a cuatro y el rendimiento y el retraso fueron medido para los tipos de tráfico TCP y UDP simulados usando D-ITG. Para enrutadores mayores a 2 el rendimiento y el retardo mejoraba a favor IPv6.

B. Objetivo general

Proponer un procedimiento para la migración del uso del protocolo IPv4 a IPv6.

C. Objetivos específicos

- Determinar los factores de despliegue de IPv6.
- Analizar la latencia en un escenario Dual Stack.
- Elaborar el procedimiento de migración de IPv4 a IPv6 para un campus universitario.

D. Justificación

IPv4 es el primer protocolo que se creó para el uso de la Internet. Sin embargo, las direcciones IP que emplea se han agotado, lo que limita el crecimiento de diversas conexiones. Por tanto, es difícil su adecuación a las nuevas aplicaciones, más aún cuando a nivel mundial se presenta el crecimiento continuo de las mismas, las cuales requieren una IP pública única, ejemplo de ello son: los teléfonos con tecnología

VoIP, televisión y radio, seguridad, televigilancia, mercados virtuales, juegos, videoconferencia, redes inalámbricas, etc. Sumado a ello las estadísticas evidencian que este tipo de protocolo no permite la asignación de nuevas direcciones IP a los usuarios de diferentes empresas u organizaciones del sector educativo, bancario, industria, entre otros.

En la actualidad, se necesitan protocolos que garanticen unas características adecuadas a los tipos de tráfico de datos, cada día crece de forma constante el número de usuarios que acceden a la red desde diversos dispositivos. Esta creciente demanda de conectividad ha hecho que cada vez sean más escasas las IP públicas y se necesiten mejores prácticas para salvaguardar el flujo de información.

El uso de la TIC's, son muy importantes y la gran demanda de las direcciones IP, que trae como consecuencia el agotamiento de las direcciones IPv4 disponibles, tablas de enrutamiento de gran tamaño y la falta de funcionalidad para dar seguridad, eficiencia y calidad de servicio en la red de datos de un campus universitario.

Las necesidades de los usuarios a conexiones a internet han aumentado exponencialmente, exigiendo nuevas capacidades que la versión IPv4 no proporciona como lo son la seguridad, privacidad, velocidad, VoIP, multimedia, teleconferencias y aplicaciones a gran demanda; es de esta manera se trata de cubrir las necesidades actuales y las futuras. Todo lo mencionado conlleva a la necesidad imperiosa de la migración de redes IPv4 a IPv6.

II. BASES TEÓRICAS

A. El Protocolo IPv4

El **Protocolo de Internet Versión 4** en inglés, *Internet Protocol version 4 (IPv4)*, es la cuarta versión del *Internet Protocol (IP)*, un protocolo de interconexión de redes basados en Internet, y fue la primera versión implementada para la producción de ARPANET Comer [6], en 1983. Definida en el RFC 791. IPv4 usa direcciones de 32 bits, limitándola a $4\,294\,967\,296$ direcciones únicas, muchas de las cuales están dedicadas a redes locales (LAN). Por el crecimiento enorme que ha tenido Internet (mucho más de lo que esperaba, cuando se diseñó IPv4), combinado con el hecho de que hay desperdicio de direcciones en muchos casos, ya hace varios años se vio que escaseaban las direcciones IPv4.

B. El Protocolo IPv6

El **Protocolo de Internet versión 6**, en inglés, *Internet Protocol version 6 (IPv6)*, es una versión del *Internet Protocol (IP)*, definida en el RFC 2460 y diseñada para reemplazar a *Internet Protocol version 4 (IPv4)* RFC 791, que a 2016 se está implementando en la gran mayoría de dispositivos que acceden a Internet.

En cambio, IPv6 admite $340.282.3.374.607.431.768.211.456$ Comer[6] (2128 o 340 sextillones de direcciones), cerca de $6,7 \times 10^{17}$ (670 mil billones) de direcciones por cada milímetro cuadrado de la superficie de la Tierra.

C. QoS de la red

Se refiere a la calidad de servicio de la red de datos que se define como parámetros de calidad de servicio de la red, Halsal [7], en relación con su desempeño, son: el rendimiento, la pérdida de paquetes transmitidos, el retardo y el jitter. El rendimiento es la velocidad de transmisión menor a igual a la capacidad máxima del enlace medida como el número máximo de bits transmitido por segundo. La pérdida de paquetes se refiere a la cantidad de paquetes que no llegan al receptor del mensaje. El retardo es el tiempo de demora en llegar un paquete al receptor. Jitter es la variación de retardo que se mide en el receptor.

D. Mecanismos de transición

IPv6 ha sido diseñado de tal forma que se facilite la migración y la coexistencia con IPv4. Dicha coexistencia con IPv4 ha tardado muchos años, motivo por el cual se han desarrollado varios mecanismos de transición. Existen tres principales categorías de mecanismos de transición

- Dual Stack
- Túnel
- Traducción de Ipv4 a Ipv6

Dual snack, este mecanismo soporta IPv4 e IPv6 y todos los nodos se tienen que configurar con ambos protocolos soportando direccionamiento estático DHCPv4, SLAAC o DHCPv6 y los protocolos de enrutamiento para cada versión OSPFv3, RIPng, BGP4, IS-IS, entre otros [8]. El mecanismo permite una rápida transición, mejor rendimiento, escalabilidad y eficiencia. Pero, también requiere mayores recursos de hardware, doble gestión y seguridad. Doble escenario de DNS [1].

Túnel, también denominado encapsulado de IPv6 sobre IPv4 y viceversa. Es decir, si el paquete de origen corresponde a un dispositivo IPv4, el cual debe ser encapsulado en un paquete IPv6 para atravesar la red IPv6 para luego desencapsular en un paquete IPv4 en la red de destino IPv4 en el que se encuentra el host de destino. El proceso también puede ser inverso es decir el paquete de origen puede ser IPv6 y luego atravesar una red IPv4 y la red de destino IPv6, es decir, donde se encuentra el host de destino. Las redes de origen y destino se denominan “islas” las que pueden ser IPv4 o IPv6. Este mecanismo hace que sea compatible en redes incompatibles como IPv4 e IPv6 [1].

Traducción, este mecanismo permite que dispositivos IPv4 se comuniquen con dispositivos IPv6 y viceversa. Esta técnica no tiene modificaciones en los nodos finales de IPv4 o IPv6, solo en los enrutadores de límite. Este mecanismo presenta una mayor complejidad en la topología de red, un rendimiento reducido (dependiendo del hardware). Este mecanismo proporciona una rápida migración a IPv6 y soporta múltiples fabricantes. Al ser stateful requiere u alto consumo de memoria. Si las aplicaciones finales no soportan IPv6 este mecanismo no aplica.

E. Situación de IPv6

El agotamiento de direcciones IPv4 el 19 de agosto de 2020 según informa LACNIC y la llegada de nuevas tecnologías como Internet de las cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA), 5G, Cloud Computing y Ciudades Inteligentes hacen que sea necesario la adopción del nuevo protocolo IPv6. La situación de la adopción de IPv6 es creciente a nivel mundial, regional y nacional. El despliegue de IPv6 a nivel mundial según Asia Pacific Network Information Communication (APNIC) en febrero del 2023, América con 39% de usuarios tiene el mayor despliegue de IPv6 seguido por Asia con 36% y Europa con 28%. En general en el mundo IPv6 tiene un despliegue de 32% [9].

En la región de Latinoamérica el crecimiento del uso de IPv6, la información recopilada tiene como fuente de información APNIC correspondiente a febrero de 2023 [9], donde se observa que Uruguay lidera con 59% el uso de IPv6 en América Latina, seguida de Brasil con 44%, Paraguay con 32% y en cuarto lugar Perú con 32%, los últimos países son Venezuela con 1% y Guyana Francesa 1%.

El despliegue de IPv6 en el Perú se puede observar en la Fig. 1, donde se observa un crecimiento de usuarios de IPv6 en el último año un crecimiento, básicamente a través de las conexiones de IPv6 que los operadores de telefonía móvil están adoptando, por las características de conectividad directa de los equipos de los usuarios con el proveedor. La información del despliegue de IPv6 en cada año es enero excepto el que corresponde al año 2023, según los datos de APNIC [9].

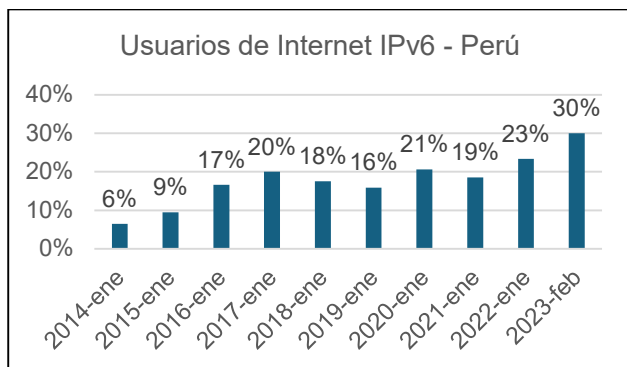


Fig. 1. Usuarios de Internet IPv6 Perú

F. Factores de despliegue de IPv6

El despliegue de IPv6 depende de los siguientes factores: Los dispositivos, las tecnologías y los contenidos. A continuación, se presenta las consideraciones a tener en cuenta en cada uno de los factores mencionados [1].

a) Los dispositivos

Los teléfonos inteligentes (Smartphones), las tabletas (tablets), televisores inteligentes (Smart TVs), impresoras y los relojes inteligentes (smartwatches). En el caso de los smartphones la selección puede ser automática y puede ser preconfigurada para trabajar mediante el mecanismo de transición Dual Stack, es decir si el usuario puede acceder a un sitio mediante IPv6 lo hará, de lo contrario será por IPv4, pero está configurado con prioridad para IPv6. En relación

con los relojes inteligentes, estos desde que aparecieron pueden utilizar el nuevo protocolo.

En el hogar también se pueden conectar los artefactos como hornos microondas, refrigeradoras, cámaras de videovigilancia entre otros, estos son compatibles con el nuevo protocolo debido a la seguridad que ofrece. Es decir, considerando la ciberseguridad aplicada a la Internet de las Cosas.

Los equipos terminales para el usuario suministrados por el proveedor de servicios de Internet conocidos como Customer Premises Equipment (CPE), como ejemplos tenemos a los router-switch que nos da el proveedor, módems para Internet móvil, muy usado durante la pandemia son compatibles con IPv6 [10].

b) Las tecnologías

Con la capacidad de direccionamiento de IPv6 de 340 sextillones de direcciones y 128 bits de cada dirección permite que pueda direccionar pequeñas celdas de la red 5G de comunicaciones móviles que año se incrementa su despliegue en el mundo y en especial Latinoamérica [11]. Además, mejora la experiencia del usuario con velocidades de transmisión de hasta 10Gps, menor latencia (1ms) y mayor movilidad para el control de autos autónomos o flotas de autos, los servicios de localización es decir la ubicación del usuario en la red, la seguridad como el cifrado de extremo a extremo y otros servicios [12]. El uso de Machine Learning, Inteligencia Artificial y Big Data contribuyen a la provisión del servicio 5G para detectar puntos calientes de usuarios y lugares de falta de tráfico 5G, y administrar de una manera más eficiente el espectro de 5G para una conectividad más rápida de los usuarios con protocolo IPv6. El advenimiento de la Industria 4.0, es decir que las máquinas de producción pueden interactuar entre ellas por medios inalámbricos y son digitales con ayuda de la Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), recopilando gran cantidad de información para la mejora de la producción. Plantas energéticas virtuales, es decir gracias a las redes 5G y mediante un software de gestión se optimiza el reparto de energía en una ciudad o región geográfica de una manera más eficiente.

Las ciudades inteligentes, mediante la iluminación inteligente, el tránsito totalmente digital (semáforos, señalética), dispositivos de sonido y cámaras inteligentes, entre otros beneficios de la digitalización en los sistemas y servicios de la ciudad. El Marker, con la asignación de nuevos territorios comerciales en la ciudad entre otros beneficios, mediante un software de gestión para oportunidades de negocios o mayor oferta de servicios y productos de las empresas en las ciudades [12].

La tecnología de Internet de las Cosas consiste en dispositivos como sensores, artefactos electrodomésticos y otros conectados a Internet de manera inalámbrica sin la intervención del hombre. Para la conexión de los dispositivos se requiere una dirección IP. Esta dirección IP, en el cual IPv4 no tiene la capacidad de abastecer de direcciones a todos los dispositivos IoT en el mundo, de allí la necesidad de que estos dispositivos tengan una dirección IPv6 que si tiene esa capacidad ya que su capacidad máxima es de 340 sextillones de direcciones y solo en Latinoamérica se necesitan 1000 billones de dispositivos según Latin

American and Caribbean Internet Addresses Registry (LACNIC), por lo que la demanda de direcciones estaría cubierta [1]. En cuanto a Cloud computing se logra mejores rendimientos con IPv6, debido a la ausencia de Network Address Translation (NAT) en la ruta de IPv6, lo que permite a los operadores de Cloud ser más efectivos en el control del abuso, que trae como consecuencia en mayor seguridad para los usuarios [1].

c) Los contenidos

Los principales proveedores de Internet como Google, Facebook, Netflix y otros, tienen desplegado IPv6 en sus redes y ofrecen contenido en ambos protocolos. Para mejorar el rendimiento bajo la coexistencia de ambos protocolos se emplea un algoritmo para seleccionar de manera automática cual de los protocolos se empleará en la aplicación, esto a manera de Dual Stack, siempre teniendo prioridad IPv6 [1].

En la Fig. 2 se observa el creciente uso de IPv6 con Google como navegador y buscador, en la que se observa que en el último año 2023 ha crecido a 43%, este gráfico toma como fuente de información Google en febrero de 2023 [13].

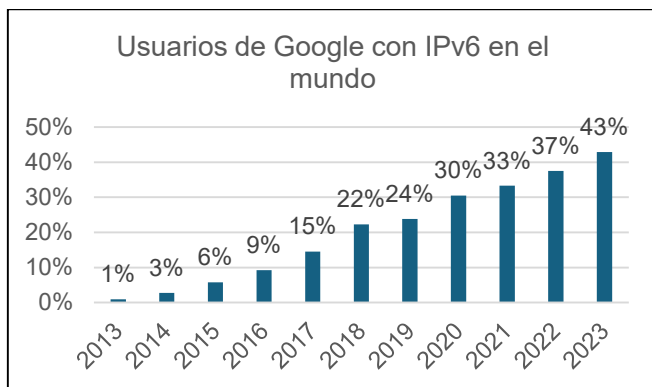


Fig. 2. Usuarios de Google con IPv6 en el mundo

En la Fig 3, se observa el creciente uso de IPv6 con Facebook que es una red social, en la que se observa que en el último año 2023 ha crecido a 36%, este gráfico toma como fuente de información Facebook en febrero de 2023 [14].

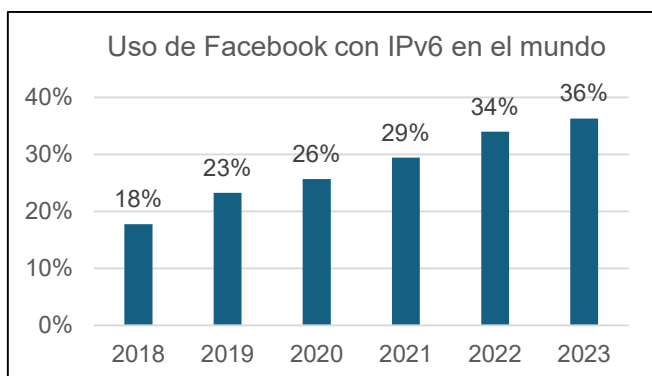


Fig. 3. Uso de Facebook con IPv6 en el mundo

G. Situación del despliegue de IPv6 en el Perú en las entidades públicas

El despliegue de IPv6 en el Perú se viene manifestándose de manera más significativa a partir del año 2014 en el cual representa un 6% hasta la actualidad con un 30% de los usuarios. El gobierno del Perú el año 2017 dispuso mediante el Decreto Supremo DS-081-2017-PCM, Decreto Supremo que aprueba la formulación de un plan de Transición al Protocolo IPv6 en las entidades públicas. La norma prevé que, a partir de la fecha de la dación de la norma, establece que los equipos que se adquirirán deben ser compatibles con ambos protocolos IPv4 e IPv6 y establece una asistencia técnica por parte de la Secretaría Técnica de Gobierno Digital (SEGDI). El presente artículo se enfoca en la parte operativa de la transición de IPv6; es decir, se ocupará acerca de la descripción del proceso y se complementará con aspectos técnicos convenientes. En esta investigación se establece un procedimiento adaptado para el caso de transición de IPv6 de una universidad. En el Perú no existe una institución que involucre a las entidades públicas, empresas privadas y la academia para el despliegue del protocolo IPv6. Para el presente estudio se consideró como referencia lo publicado en el Decreto Supremo.

H. Situación del despliegue de IPv6 en las universidades del Perú

En el caso de las universidades del Perú, hasta el momento el despliegue de IPv6 es muy poco tal como se puede observar en la Fig. 4, donde solo 2 universidades cuentan con acceso a su web por medio del protocolo IPv6, para la elaboración del gráfico de la figura 7, se ha realizado una verificación de las páginas web de las 93 universidades del Perú que cuentan con licencia para su funcionamiento considerando como fuente de información la Superintendencia de Educación Universitaria (SUNEDU). Para ello, se realizó pruebas de acceso a sus páginas web mediante un aplicativo en Linux tal como se observa en la Fig. 5. Las pruebas se efectuaron en el mes de febrero del año 2023. Las universidades que tienen sus páginas web mediante el protocolo IPv6 a la fecha indicada fueron: la Universidad Científica del Sur y la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

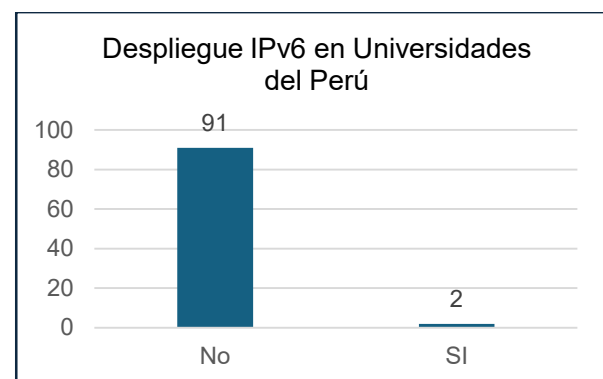


Fig. 4. Despliegue de IPv6 en universidades del Perú

```
rossina@Rossina:~$ host -t AAAA www.upch.edu.pe
www.upch.edu.pe has no AAAA record
rossina@Rossina:~$ host -t AAAA www.pucp.edu.pe
www.pucp.edu.pe is an alias for homepucp-lb-1471799463.us-east-1.elb.amazonaws.com.
rossina@Rossina:~$ host -t AAAA homepucp-lb-1471799463.us-east-1.elb.amazonaws.com
homepucp-lb-1471799463.us-east-1.elb.amazonaws.com has no AAAA record
rossina@Rossina:~$ host -t AAAA www.unmsm.edu.pe
www.unmsm.edu.pe has no AAAA record
```

Fig. 5. Pruebas de acceso a portal web mediante IPv6.

III. METODOLOGÍA

Se realizó un experimento del mecanismo de transición Dual Stack de IPv4 a IPv6 y luego se elaboró un diagrama de flujo del Plan de transición del protocolo IPv4 a IPv6 de acuerdo con el marco legal según el DS- DS-081-2017-PCM y las recomendaciones efectuadas por LACNIC y el Council IPv6.

A. Simulación de mecanismo de dual stack

En el siguiente experimento en la Fig. 6, se ha realizado una simulación mediante el simulador GNS3 de una red WAN utilizando el mecanismo Dual Stack, aplicando enrutamiento estático, es decir el enrutamiento se encuentra de manera preestablecida. El experimento consiste en establecer una comunicación a través de la red entre la PC1 y la PC4 mediante el protocolo IPv4 y luego mediante el protocolo IPv6 y comparar el retardo de los paquetes. Se eligió el mecanismo de Dual Stack porque es el mecanismo mas usado en esta etapa de despliegue de IPv6, antes de establecer los servicios de solamente IPv6 u ONLY IPv6 que sería el objetivo final del despliegue.

Donde: PC1 Dirección IPv4: 172.16.87.1
IPv6: 2001:1234::0:4:1

PC4 Dirección IPv4: 172.16.87.2
IPv6: 2001:1234::0:4:2

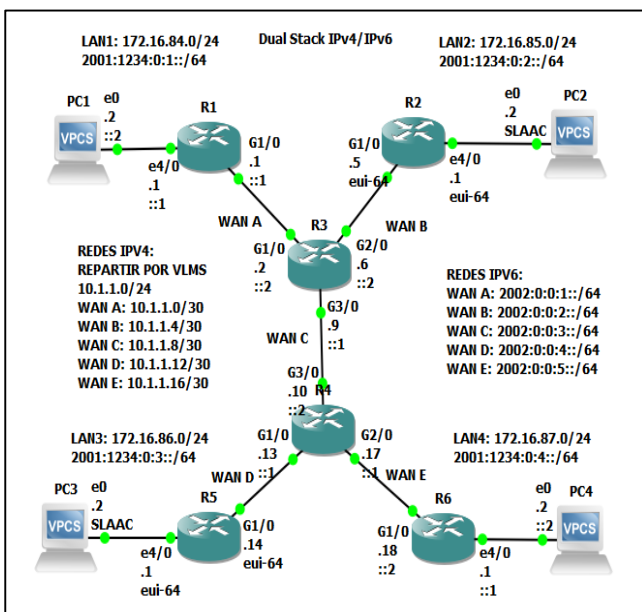


Fig. 6. Simulación del método de transición Dual Stack

La primera simulación es la comunicación entre la PC1 y la PC4 mediante el protocolo IPv4, para lo cual se procede a medir los retardos.

```
PC1> ping 172.16.87.2
84 bytes from 172.16.87.2: icmp_seq=1 ttl=60 time=122.673 ms
84 bytes from 172.16.87.2: icmp_seq=2 ttl=60 time=107.889 ms
84 bytes from 172.16.87.2: icmp_seq=3 ttl=60 time=123.996 ms
84 bytes from 172.16.87.2: icmp_seq=4 ttl=60 time=123.047 ms
84 bytes from 172.16.87.2: icmp_seq=5 ttl=60 time=61.472 ms
```

Fig. 7. Pruebas de retardo mediante IPv4 entre la PC1 y la PC4 de la red de simulación

La segunda simulación es la comunicación entre la PC1 y la PC4 mediante el protocolo IPv6, para lo cual se procede a medir los retardos.

```
PC1> ping 2001:1234:0:4::2
2001:1234:0:4::2: icmp6_seq=1 ttl=56 time=151.917 ms
2001:1234:0:4::2: icmp6_seq=2 ttl=56 time=105.866 ms
2001:1234:0:4::2: icmp6_seq=3 ttl=56 time=89.208 ms
2001:1234:0:4::2: icmp6_seq=4 ttl=56 time=90.964 ms
2001:1234:0:4::2: icmp6_seq=5 ttl=56 time=107.126 ms
```

Fig. 8. Prueba de retardo con el protocolo IPv6 ente la PC1 y la PC4 de la red de simulación

B. Procedimiento de transición de ipv6 para red universitaria

Se establece un plan tomando como base el DS-081-2017-PCM y LACNIC para realizar la transición al protocolo IPv6, el que se presente en la Fig. 9 y luego se desarrollará cada uno de los bloques describiendo en detalle el proceso de transición, en este caso de manera específica para una universidad.

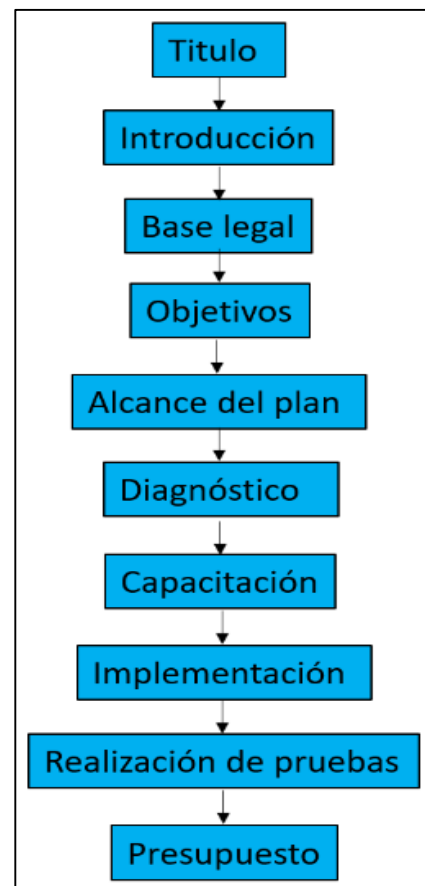


Fig. 9. Diagrama de flujo del Plan de Despliegue de IPv6.

A continuación, se detalla cada una de las partes del diagrama de flujo del plan de despliegue de IPv6 dentro del campus universitario:

- a) *Título:* Nombre del Plan Institucional de Transición del protocolo IPv6.
- b) *Introducción:* Información acerca de la finalidad del plan de despliegue de IPv6 en la universidad.
- c) *Base legal:* Si se trata de una universidad pública se indica la base legal.
- d) *Objetivo:* Implementar la transición al protocolo IPv6 en la universidad.
- e) *Alcance del plan:* Implementar ONLY IPv6 en toda la red universitaria.
- f) *Diagnóstico:* Consiste en las evaluaciones, auditorías y chequeo del equipamiento de hardware y software de la red. En esta etapa se verifica la compatibilidad de los equipos con IPv6.
- g) *Capacitación:* Se realiza la capacitación de personal técnico responsable con la certificación correspondiente y la sensibilización de los funcionarios. Esta actividad debe incluir cronogramas, plazos y responsables de la capacitación.
- h) *Implementación:* En esta etapa se realiza el plan de direccionamiento, la solicitud de recursos IPv6 y el anuncio del prefijo IPv6. El plan de direccionamiento es el proceso de organizar la asignación de direcciones IPv6. La solicitud de recursos IPv6, es el proceso de solicitar a LACNIC las direcciones IPv6 y Autonomous System Number (ASN) en este caso por ser la organización una universidad; se tiene que solicitar como usuario final a LACNIC. Anuncio de prefijos, se refiere al despliegue de una serie de técnicas y protocolos de enrutamiento y conexiones mediante sesiones usando el Border Gateway Protocol (BGP) para conectarse con otros Internet Services Provider (ISP), con la finalidad de realizar el intercambio de información de enrutamiento. Con información de enrutamiento de internet se refiere al número de (ASN) y prefijos de Internet. Esta actividad comprende cronograma de actividades, entregables y responsables.
- i) *Realización de pruebas:* En esta actividad se incluyen pruebas de compatibilidad de los equipos, Quality of Service (QoS), monitoreo de IPv6, pruebas de las políticas de seguridad. Requiere de un cronograma, responsables y entregables.
- j) *Presupuesto:* Recurso económico suficiente para elaborar el plan y ejecutarlo, el que debe ser gestionado por los funcionarios involucrados en la actividad de sensibilización.

Para la implementación es necesario considerar que la red universitaria luego del proceso de transición luego tiene que converger hacia una red ONLY IPv6 y que de persistir algunos sistemas con IPv4 se adquirirá el servicio IPv4 AS A SERVICE, es decir la conectividad con el protocolo IPv4 será como un servicio adicional más.

IV. ANÁLISIS

A. Simulación de la red con mecanismo de transición dual stack

La simulación consistió en comunicar mediante el protocolo IPv4 la computadora PC1 con la PC4 con la finalidad de verificar el retardo, para lo cual se empleó el comando ping 27 veces es decir comunicaciones. Luego se repitió el experimento, pero mediante el protocolo IPv6. A los retardos obtenidos se le calculó el promedio obteniéndose el resultado que se observa en la Fig. 10, para el caso de cada protocolo.

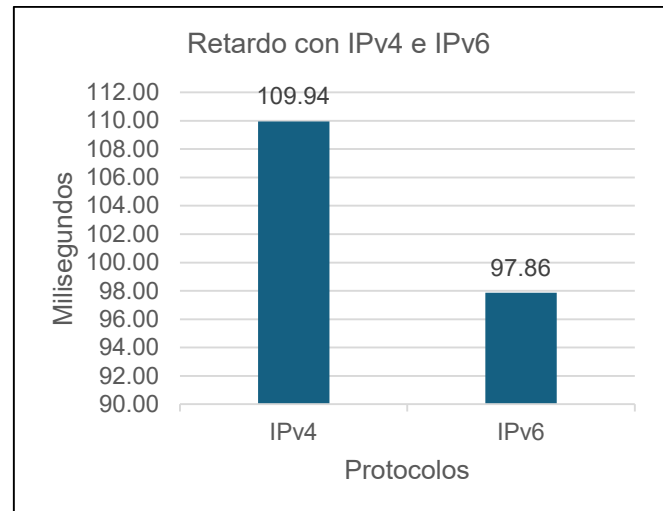


Fig. 10. Retardo con IPv4 e IPv6 medido en la simulación Dual Stack de la Fig. 6

Se puede observar que el resultado en la figura el menor retardo se obtiene con el protocolo IPv6, es decir en este aspecto de la QoS es mejor que si usara el protocolo IPv4. Como se mencionó en el mecanismo de transición Dual Stack coexisten el protocolo IPv6 nativo e IPv4 y es la opción más usada que permite una transición gradual hacia IPv6 y tiene como ventaja su fácil despliegue y es extensamente soportado por diferentes elementos de la red. Su desventaja la topología de red requiere de dos tablas de encaminamiento y cada nodo en la red necesita tener actualizadas las dos pilas.

B. Procedimiento de transición hacia IPv6 en una red universitaria

Es importante empoderar a los tomadores de decisión de la universidad considerando la importancia del proceso transición. La importancia de la capacitación del personal profesional que cuente con la experiencia y la capacidad para llevar a cabo el proceso completo. Es necesario considerar aspectos de estandarización y políticas de registro.

En el proceso es clara la participación de LACNIC como ente que proporciona las direcciones de IPv6 así como los números de los sistemas autónomos. La importancia del despliegue es tener en cuenta que el 19 de agosto de 2020, LACNIC agotó las direcciones IPv4 y en la actualidad solo dispone de recursos recuperados y devueltos más una reserva para infraestructura crítica. Al haberse agotado las

direcciones, los bloques de direcciones en el mercado secundario se incrementarán los costos cada vez más.

Con el advenimiento de la Industria 4.0, las universidades deberían de estar preparadas para este cambio tecnológico, el cual involucra necesariamente el despliegue del protocolo IPv6.

En el Perú no existe una entidad integrada por el gobierno, la academia y la industria que se ocupe de esta problemática y pueda trazar una estrategia para el despliegue de IPv6. Solo existe una iniciativa solo en el sector gobierno a través de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), el IPv6 Council Perú y dos universidades que desplegaron IPv6.

V. CONCLUSIONES

- El método de transición Dual Stack es el que más se emplea para el despliegue inicial de IPv6.
- Es necesario contar con los profesionales capacitados y certificados en la transición de IPv6 como paso previo a la ejecución del plan de despliegue de IPv6 en el campus universitario. Estimar los costos necesarios para la ejecución del plan de despliegue.
- La adquisición de nuevos equipos informáticos debe contemplar necesariamente que tengan la posibilidad de usar ambos protocolos IPv4 e IPv6.
- El retardo en la comunicación mediante el protocolo IPv6 es menor que usando el protocolo IPv4, esto debido a factores como el menor procesamiento de los datos transmitidos con el nuevo protocolo.
- La seguridad es mayor en el caso del uso del protocolo IPv6 respecto al protocolo IPv4, usando el protocolo IPsec.

REFERENCIAS

- [1] LACNIC, «Estadísticas y tendencias: El despliegue de IPv6 en América Latina y el Caribe 2016-2020,» 2021.
- [2] C. Manayay y R. Olivera, Migración de IPv4 a IPv6 para mejorar la seguridad y velocidad de a Red elemental de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo., Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2015.
- [3] I. Biju, «Analysis of IPv6 Through Implementation of Translation,» International Journal of Business Data Communications and Networking, vol. 12, pp. 36-62, 2016.
- [4] ETSI GR IP6, Generic migration steps from IPv4 to IPv6, ETSI, Ed., Sophia Antipolis Cedex, 2017.
- [5] S. Narayan, P. Raimond, K. Vijayakumar y S. Sodhi, «Performance Analysis of Networks with IPv4 and IPv6,» IEEE Xplore, pp. 1-4, 2011.
- [6] D. Comer, Redes globales de la información con Internet y TCP/IP, México: Prentice-Hall, 1996.
- [7] F. Halsall, Redes de Computadoras e Internet, Madrid: Pearson Addison Wesley, 2006.
- [8] M. Tomy, Tesis, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- [9] APNIC, «LABS APNIC,» febrero 2023. [En línea]. Available: <https://stats.labs.apnic.net/ipv6>.
- [10] A. D'Egidio, «Informe sobre soporte de IPv6 en equipos CPE,» LACNIC (Registro de Direcciones de América Latina y el Caribe), Montevideo, 2021.
- [11] LACNIC, «Conportamiento de operadores en el despliegue de IPv6 en América Latina y el Caribe,» febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.lacnic.com>.
- [12] Markergo, «Redes 5G y los servicios de geolocalización,» febrero 2023. [En línea]. Available: <https://markergo.com/redes-5g-y-geolocalizacion/>.
- [13] Google, «GoogleIPv6,» febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.google.com/intl/es/ipv6/statistics.html>.
- [14] Facebook, «IPv6,» febrero 2023. [En línea]. Available: https://www.facebook.com/ipv6/?tab=ipv6_total_adoption.

Conflicto de Intereses / Competing Interests:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Rol de los autores / Authors Roles:

Rafael Bustmante Alvarez: Planteamiento de la solución y desarrollo del procedimiento de migración de Ipv6.

Rossina Gonzales Calienes: Estado del Arte, pruebas de simulación y edición del artículo.

Fuentes de financiamiento / Funding:

Esta investigación se realizó con el financiamiento de los autores.

Aspectos éticos / legales; Ethics / legals:

Los autores declaran no haber violado u omitido normas éticas legales al realizar la investigación y esta obra.