

Coexistencia entre el protocolo IPv4 e IPv6 en la Red convergente del Centro Industrial de Mantenimiento Integral – SENA CIMI.

Edgardo Javier Rua Rangel
Universidad Santo Tomas

Maestria en sistemas de Redes y Sistemas de Comunicaciones
Bucaramanga (Colombia)
erua400@misena.edu.co

Diana Teresa Parra

Universidad Autónoma de Bucaramanga
Facultad de Ingeniería
Bucaramanga (Colombia)
dparra486@unab.co

Abstract— This document aims to define the need to implement the IPv6 internet protocol in telecommunications networks that due to the exponential growth have been generating greater demand for services and opportunities in the global internet network; With the increase in computer and communication technologies, the process of technological innovation has increased in the various wired and wireless devices, such as cell phones, access points, tablets, servers, storage equipment, among others, which began to increase connectivity in many networks in the world and for this they have had to do it with internet addresses that allow connections to be established for each element connected to the network. Framed in the digital governance guidelines of the TIC Ministry, the Industrial Maintenance Industrial Center (SENA CIMI) as an entity of the state is adapted to the implementation of a design and subsequent execution of a native IPv6 network, expanding the coverage and security of the network. This is intended to offer a viable alternative without losing access to IPv4 services and without incurring the disadvantages implicit in other approaches in terms of administration, inherent in the operation of IPv4 and IPv6 simultaneously.

Keywords— *Dual stack, IPv4 to IPv6 transition mechanisms, Tunnel type mechanisms.*

I. INTRODUCCIÓN

IPv6 es la actualización del Protocolo de Internet, el cual es fundamental para el funcionamiento de las Redes. Desde que se inició el diseño de IPv6 se previó que tendría que coexistir con IPv4 durante un largo período de tiempo por su lenta implementación. En la actualidad existen millones de dispositivos, aplicaciones y servicios, que requieren de una IP pública. Internet ha llegado a ser una infraestructura de red que ha tenido un avance exponencial.

La falta de ejecución en Colombia de la implementación del protocolo IPv6 no ha tenido un avance significativo ya que según estadísticas de asignaciones suministradas por LACNIC (*The Latin American and Caribbean Internet Address Registry*) en el transcurso del año 2018 solo se han asignado un bloque de direcciones IPv6 que solo abarca el 2,4% ubicado en un cuarto lugar detrás de Chile con 2,6% y Argentina con 9,4% y en un primer lugar se encuentra Brasil

que tiene la utilización de este protocolo en un 72% como se muestra en la Fig. 1 esta estadística refleja el déficit de penetración del protocolo en Colombia y que Brasil lidera el proceso de adopción de IPv6 y tiene una gran ventaja con respecto a los demás países de Latinoamérica[1].

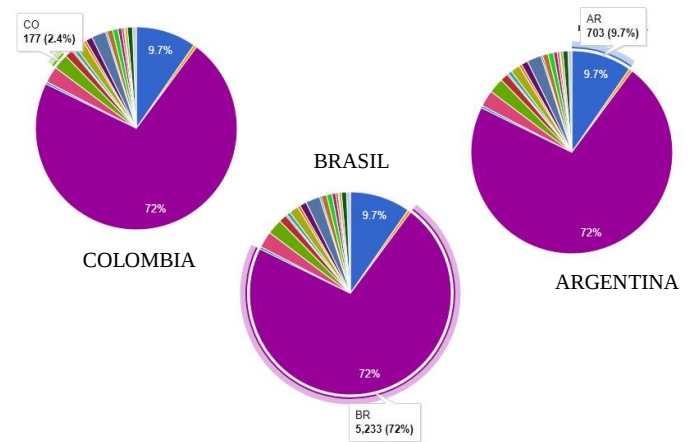


Fig. 1. Distribución de IPv6 por país por LACNIC.

Las ventajas que proporciona IPv6 con respecto a IPv4 son numerosas, pero una de las más significativas que se pueden encontrar son:

- La longitud de una dirección IPv6 es de 128 bits, comparado con los 32 bits de las direcciones IPv4. Esto representa más de 7.9×10^{28} veces la capacidad de direccionamiento que su antecesor, IPv4, lo cual permitiría generar aproximadamente 4.8×10^{28} direcciones para cada una de los 7 billones de personas vivas en el mundo.
- La seguridad inherente en el mismo protocolo IPv6 incluye IPsec que permite autenticación y encriptación del propio protocolo base.
- La privacidad en IPv4, el esfuerzo para conservar espacio de direccionamiento mediante NAT (Network Address Translation) es un problema para los espacios de direccionamiento, los hosts, y las topologías de red. Con IPv6, y el uso de direcciones auto configurables,

el Identificador de Interfaz (la dirección MAC) de un puerto de interfaz es usado para hacer pública su dirección IP única, exponiendo el tipo de hardware que utiliza y proporcionando un identificador único para la actividad online de un usuario.

Ahora bien, teniendo en cuenta las bondades de este nuevo protocolo el Ministerio de las TIC emitió la circular 002/2011 [2], mediante la cual busca que todas las entidades que hagan parte del programa de Gobierno en línea, empiecen a llevar a cabo los estudios para la migración al protocolo IPv6. En este sentido, el Centro de Industrial de Mantenimiento Integral (SENA-CIMI), entidad que pertenece a este Programa, ha evidenciado la necesidad de diseñar una infraestructura tecnológica que permita la coexistencia y posterior transición de servicios informáticos hacia IPv6 con el fin de ser partícipes de la nueva generación de tecnologías.

En Colombia, la necesidad de implementar IPv6 se evidencia en el texto “Promoción de la Adopción de IPv6 en Colombia” del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [1], donde uno de sus propósitos es garantizar que la tecnología proyectada (IPv6) sea la adecuada para cumplir sus metas, ya que dentro de su plan “Vive Digital Colombia” se tiene como objetivo principal ampliar el número de usuarios de Internet banda ancha de 2.2 a 8.8 millones de suscriptores en el periodo comprendido entre el 2010 y 2018 [3].

Con respecto a la implementación de IPv6 varios de los trabajos y directrices que se han reportado, se han hecho extendiendo la funcionalidad de doble pila sobre la red, con el fin de que IPv6 pueda funcionar sin afectar la operación normal de la red IPv4, 6NET [4]. Otra estrategia consiste en separar la infraestructura IPv6 de la infraestructura IPv4, donde se implementan sitios IPv6 nativos independientes de los sitios IPv4 y mediante el mecanismo de transición ISATAP (*Intra Site Automatic Tunnel Addressing Protocol*) se ofrece conectividad IPv6 a las estaciones con soporte IPv6 que se encuentran ubicadas en los sitios IPv4 [5]. Además, como complemento de ISATAP se utilizan sitios doble pila para brindar los servicios de la red comunes a IPv4 e IPv6 [6].

Cualquiera de las dos alternativas mencionadas antes para implementar IPv6, funciona bien y permite la coexistencia de IPv4 e IPv6 dentro de una misma red, pero éstas presentan ciertas desventajas inherentes al funcionamiento de IPv4 e IPv6 de forma simultánea, entre las cuales se encuentran:

- a). Un mayor consumo de recursos debido a que se debe brindar soporte para ambos protocolos. Esto tiene implicaciones, entre otros, en los servidores DHCP, tablas de direccionamiento y aplicaciones [7].
- b) Necesidad de mayor administración de la red, ya que se deben establecer políticas de seguridad tanto para IPv4 como para IPv6.

b) Se sigue dependiendo fuertemente de las direcciones IPv4, ya que múltiples aplicaciones de software no han emigrado a IPv6.

Con respecto a la transición de las redes IPv4 hacia IPv6, el gobierno de Colombia en cabeza de su Ministerio de las TIC ha creado políticas y directrices para que este cambio sea de obligatorio cumplimiento en las entidades del Estado dentro de un plazo razonable[2].

En muchas entidades públicas (por ejemplo, el SENA) y privadas, la infraestructura de red ya soporta IPv6. Uno de los mayores obstáculos que ha frenado el uso de dicho protocolo es el temor a que se afecte de manera crítica la operación de la red IPv4 y, a su vez, la operación y producción de la entidad. La mayoría de implementaciones de IPv6 se hacen conservando en paralelo el funcionamiento de IPv4, ya sea en un escenario de doble pila o implementando ambos protocolos por separado. En este documento se propone un modelo con una aproximación distinta, la cual consiste en la implementación de una red IPv6 nativa que utiliza algunos mecanismos de transición desde IPv4 para suplir las necesidades de interconexión. Esta aproximación cuenta con las siguientes ventajas:

- a) La red trabaja sólo con IPv6, por tanto, no tienen lugar las desventajas asociadas al consumo de recursos que se presentan en una implementación de doble pila.
- b) Se disminuye considerablemente la dependencia de direcciones IPv4. Sólo se necesitan direcciones IPv4 para los equipos donde se aplican los mecanismos de transición.
- c) Cuando el tamaño y uso de la red IPv6 que se implemente predomine sobre el tamaño y uso de la red IPv4 heredada y llegue el momento de desactivar IPv4, hacerlo resultará mucho más sencillo que en una implementación de doble pila, ya que, en el esquema propuesto, los mecanismos de transición son implementados en unos pocos equipos, y es un proceso que se ejecuta de forma transparente al resto de la red; por lo tanto, bastará con realizar el cambio en estos equipos e IPv4 será totalmente desactivado[8].

Este proyecto busca implementar y validar un proceso de coexistencia y futura transición y se plantea como una opción válida modelo de una red IPv6 nativa con conexión a Internet IPv6, Internet IPv4. Este esquema puede ser considerado por las entidades públicas y privadas como una opción para realizar la transición de su infraestructura de red a IPv6.

II. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACION DE IPV6 EN COEXISTENCIA CON IPV4

Para la implementación de IPv6 de forma nativa en la Red del Centro Industrial de Mantenimiento Integral (SENA-CIMI) se tiene el siguiente inconveniente: el protocolo IPv6 en la red del proveedor de servicio (*Internet service provider – ISP*) que presta el servicio de interconexión hacia Internet y a las otras sedes regionales y nacionales del SENA no ha madurado aún su implementación y se podría correr el riesgo de perder la conectividad externa en la red VoIP y datos. Para afrontar dicha dificultad, se plantea la

transición y coexistencia con IPv4 a través de Túnel 6to4, el cual es un mecanismo de túnel automático que usa infraestructura IPv4 para permitir la comunicación de dominios IPv6. Como complemento de la solución se hace necesario la implementación NAT64 el cual se encarga de dar acceso a sistemas que solo tienen pila IPv4 desde hosts que solo tienen IPv6. Así por cada paquete IPv6 que recibe el enrutador NAT64, se debe construir un paquete IPv4 el cual consiste en: Mapeos de campos del encabezado y traslación de direcciones IPv6 a IPv4 [9], como se muestra en la Fig. 2.

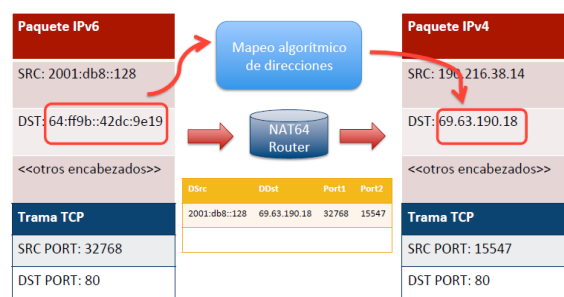


Fig. 2. Mapeo algorítmico de direcciones.

En conjunto con este mecanismo también debe actuar DNS64 para la resolución de nombres. Esta técnica mitigará los inconvenientes de la ejecución del protocolo IPv6 de forma nativa en el SENA CIMI (Centro Industrial de Mantenimiento Integral), sin perder acceso a las sedes regionales y nacionales. En la Fig. 3 se presenta la red diseñada, en la cual se tiene una red IPv6 nativa con tres enrutadores de borde, uno para la conexión con oficinas remotas “R2. IPv6”, otro para la conexión a Internet IPv6 “R. 6TO4” y finalmente uno para conexión con Internet IPv4 “R. NAT64”. Los router de borde con que cuenta la entidad son *Cisco 2900 Series Integrated Services Routers*, los cuales cuentan con servicios integrados como son VoIP, servicios de intrusiones y seguridad y otros beneficios que se adaptan al proyecto, los cuales se describen en la Tabla 1 [10].

TABLA 1. Ventajas de Los Router Cisco 2900 ISR.

Beneficios	Descripcion
Servicios de Integracion	Los ISR de la serie 2900 de Cisco ofrecen mayores niveles de integración de servicios con servicios de voz, video, seguridad, inalámbricos, de movilidad y de datos, lo que permite mayores eficiencias y ahorro de costos.
Servicios sobre demanda	Se instala una sola imagen de Universal Software de Cisco IOS® en cada ISR G2. La imagen Universal contiene todos los conjuntos de tecnología

	Cisco IOS que se pueden activar con una licencia de software. Esto le permite a su empresa implementar rápidamente características avanzadas sin descargar una nueva imagen IOS.
Alto rendimiento con servicios integrados	Cisco 2900 Series permite la implementación en entornos WAN de alta velocidad con servicios concurrentes habilitados hasta 75 Mbps.
Agilidad de red	Las interfaces modulares ofrecen un mayor ancho de banda, una diversidad de opciones de conexión y flexibilidad de red.
Eficiencia energética	Integración de servicios y modularidad en una plataforma única que realiza múltiples funciones, optimiza el consumo uso de energía.

En la Tabla 2 se presentan las direcciones de los dispositivos de la red que intervienen en el proceso de transición.

TABLA 2. Direcciones y parámetros importantes en los dispositivos de la red diseñada dual Stack.

Equipo	Direcciones logicas	Destino
R1. IPv6	2002:C010:101:64::1/64 2002:C010:101::10/64	Red interna Routers de borde
R.NAT64	2002:C010:101::64/64 192.16.4.64/24	Internet IPv4
R1.IPv4	192.16.1.2/24 192.16.4.2/24 192.18.1.2/24 192.19.1.2/24	R2.IPv4
R2.IPv4	192.19.1.1/24 194.20.1.1/24	Internet IPv4 Red IPv4

El funcionamiento de la red (ver Fig. 3), se comprobó a través del uso de una plataforma de pruebas utilizando la integración del software de emulación de redes GNS3 y máquinas virtuales con Virtual Box. Dichos programas se ejecutaron sobre un computador físico con sistemas operativos Ubuntu 16.04 y Windows 10. Es necesario asegurarse de que la plataforma de enrutamiento seleccionada para ser emulada por GNS3 soporte los protocolos IPv6 y BGP.

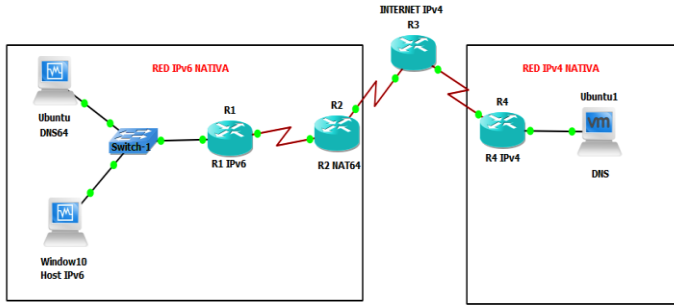


Fig. 3. Funcionamiento del mecanismo NAT64 Y DNS64.

III. CONEXIONES A SEDES REMOTAS

Se plantean dos opciones que se adaptan a la infraestructura de la Red del SENA CIMI, para garantizar el éxito de la coexistencia de los dos protocolos. Una alternativa es GRE IPv4, esta opción se complica cuando el número de sedes a conectar aumenta en topologías de tipo malla y en nuestro caso son demasiadas sedes SENA a nivel nacional. La segunda opción y la más viable que se plantea es el Túnel 6to4. Esto implica algunas consecuencias en la red debido a que la dirección IPv4 pública subyacente determina el valor de los 32 bits siguientes al prefijo 2002::/16, una futura migración en la que se requiera que IPv6 sea el único protocolo de red (a lo cual se le denomina IPv6 nativa o IPv6-only) requiere un cambio en la numeración de las direcciones IPv6. Por otra parte, IPv6 sobre MPLS, usa la infraestructura MPLS existente y puede ser dispendioso de configurar dependiendo del método subyacente utilizado (IPv6 en circuitos de transporte sobre MPLS, IPv6 usando túneles IPv4 en los encaminadores de borde de usuario o IPv6 con núcleo MPLS basado en IPv4 “6PE/6VPE”).

Para la Ruta 1 de la red entre los equipos “R2 IPv6” y “R3 IPv6” de la Fig. 4 se presenta la alternativa seleccionada para solucionar la conexión con las oficinas remotas IPv6, la cual consiste en la implementación por parte del ISP del mecanismo 6PE sobre MPLS. Este mecanismo consiste en activar el intercambio de rutas IPv6 entre los Routers de borde del proveedor (equipos 6PE1 y 6PE2 en la Fig. 4). La ventaja de este mecanismo es que no requiere la realización de cambios en el núcleo MPLS ya que una vez el datagrama IPv6 llega a los equipos 6PE, es encapsulado dentro de MPLS y el encaminamiento se hace a nivel de etiquetas y no de IP, lo cual permite transportar paquetes IPv6 sobre una red MPLS IPv4 [11], en la tabla 3 se muestran las direcciones IP utilizadas para las simulación.

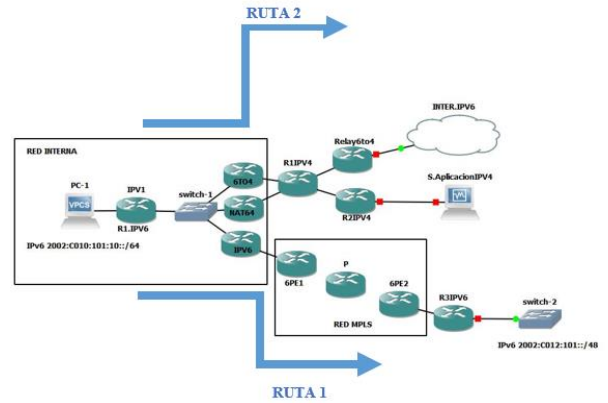


Fig. 4. Red IPv6 diseñada con 6to4, NAT64, DNS64 y 6PE sobre MPLS.

TABLA 3. Direcciones y parámetros importantes en los dispositivos de la red diseñada.

Equipo	Direcciones lógicas	Destino
R1. IPv6	2002:C010:101:64::1/64 2002:C010:101::10/64	Red interna Routers de borde
R2.IPv6	2002:C010:101::8/64 2002:C010:101:8::1/64	Red interna Oficinas remotas
6PE1	2002:C010:101:8::2/64 192.30.1.1/24	Red del usuario Red MPLS
P	192.30.1.2/24 192.40.1.2/24	6PE1 6PE2
6PE2	2002:C010:101:9::2/64 192.40.1.1/24	Red del usuario Red MPLS
R3.IPv6	2002:C012:101::9/64 2002:C010:101:9::1/64	Oficina remota Conexión a la Red diseñada
R.6to4	2002:C010:101::1/64 192.16.1.1/24	Red interna Internet IPv4
R1.IPv4	192.16.1.2/24 192.16.4.2/24 192.18.1.2/24 192.19.1.2/24	R.6to4 R. NAT64 Relay.6to4 R2.IPv4
Relay.6to4	2000:1000:100::1/64 192.18.1.1/24	Internet IPv6
R.NAT64	2002:C010:101::64/64 192.16.4.64/24	Red interna Internet IPv4
R2.IPv4	192.19.1.1/24 194.20.1.1/24	Internet IPv4 Red IPv4

IV. ACCESO A INTERNET IPv6

Partiendo del principio de que el ISP solo provea Internet IPv4, una solución factible es emplear un túnel entre la red IPv6 y un router que sirva de interconexión entre IPv4 e IPv6. Para este escenario se plantea 6to4 sobre la Ruta 2 existente entre los equipos “R. 6TO4” y “Relay 6TO4” de la Fig. 4, esto debido a que dicho mecanismo es automático, sencillo de configurar y proporciona un bloque de direcciones IPv6 válidas que sirven para conectar la red a Internet IPv6 (el mecanismo *Tunnel Brokers* o el mecanismo 6rd también proporciona la misma funcionalidad), lo cual es realmente útil cuando el ISP no ofrece bloques de Direcciones IPv6. El mecanismo 6to4 funciona creando un bloque de direcciones IPv6 a partir de una dirección IPv4 perteneciente al encaminador encargado del túnel (en este

caso “R. 6TO4”). Esto se hace para que cuando otro encaminador 6to4 desee enviar un paquete a la red IPv6 nativa, éste pueda extraer de la dirección IPv6 destino la dirección IPv4 a donde se debe enviar el paquete encapsulado. 6to4 es un mecanismo que se realiza de forma transparente a la red, por lo tanto, no se necesita realizar configuraciones especiales sobre ésta, lo único que se necesita es que el Router 6to4 sea utilizado como puerta de enlace para alcanzar a Internet IPv6. Además de habilitar el funcionamiento de 6to4 [12], sobre el Router de borde “R. 6TO4”, éste debe estar configurado para utilizar un relay 6to4 (un relay 6to4 es un Router 6to4 que se encuentra conectado a Internet IPv4 y a Internet IPv6) que servirá como puente para conectarse con Internet IPv6 [8].

La configuración del Router “R. 6to4” está establecida en Router cisco de la serie 2911. En la Fig. 5 se muestra un ejemplo de los comandos que se deben configurar [8].

```
interface tunnel 0
ipv6 address (asignar dir. IPv6 a la interfaz tunnel 0)
tunnel source (nombre de la interfaz física conectada a IPv4)
tunnel mode ipv6ip 6to4
!
ipv6 route ::/0 (dirección del relay 6to4)
ipv6 route 2002::/16 tunnel (número asignado al túnel)
!
```

Fig. 5. Configuración del Router 6to4.

V. ACCESO A INTERNET IPv4

El dual Stack o doble pila es una de las opciones más implementadas a nivel mundial cuando se trata de convivencia entre protocolo IPv4 e IPv6. Una de sus ventajas, es la de utilizar los servicios de IPv4; puesto que aún muchas aplicaciones de software, sobre todo de tipo administrativo aun no funcionan con IPv6 en Internet. Aunque IPv6 proporcione un sistema más robusto y seguro no está implementado de forma masiva. Para esto se implementa NAT64 con DNS64, que a su vez se comunica con otros servidores DNS ubicados en Internet (ver Fig. 4, Ruta 1). Cuando la consulta corresponde a un nombre de host que tiene dirección IPv4, el DNS64 transforma esta dirección en una dirección IPv6 anteponiéndole el prefijo que identifica el servicio NAT64. La red debe estar configurada de tal forma que los paquetes enviados a un destino que contenga el prefijo del NAT64, utilicen el router NAT64 como puerta de enlace. La función de este router es convertir paquetes IPv6 en paquetes IPv4 y viceversa. El dispositivo DNS64 recibe las solicitudes DNS del usuario final de IPv6, que resuelve las solicitudes.

VI. FUNCIONAMIENTO SOBRE MPLS

En la Fig. 6, es presentada la configuración del protocolo de enrutamiento dinámico EGP que en este caso es BGP configurado en el Router “R3 IPv6”, el cual simula la conexión de la red interna con IPv6 nativa con una sede

remota. En la Fig. 5 se pueden observar las rutas que se están anunciando desde el equipo 6PE2. En el Router del usuario “R3. IPv6” se obtuvo información sobre las rutas de la red de la oficina central IPv6 nativa (2002:C010:101::/48). Como el protocolo de enrutamiento dinámico BGP es de tipo vector, irá descubriendo rutas a través de los demás router vecinos, a su vez, el equipo 6PE2 obtuvo las rutas del router 6PE1. Para aplicar MPLS se necesita de la interventoría del ISP. Como en ciertos casos no es posible contar con el ISP, en este caso se debería crear túnel 6to4. Dichos túneles se deberían configurar en cada sede a la cual se quiera interconectar con la sede SENA CIMI para que se puedan conectar de forma transparente al proveedor de servicio.

```
oficina_remota#sh ipv6 route bgp
IPv6 Routing Table - 9 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
        U - Per-user Static route, M - MIPv6
        I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
        O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
        ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
        D - EIGRP, EX - EIGRP external
B   2002:C010:101::/64 [20/0]
    via FESO::C003:FFF:FEF8:1, FastEthernetO/O
B   2002:C010:101:8::/64 [20/0]
    via FE80::C003:FFF:FEF8:1, FastEthernetO/O
B   2002:C010:101:64::/64 [20/0]
    via FE80::C003:FFF:FEF8:1, FastEthernetO/O
```

Fig. 6. Protocolo BGP entre SENA CIMI y sede Remota.

VII. FUNCIONAMIENTO RED INTERNA IPv6 A RED EXTERIOR IPv6

En un servidor basado en Linux Ubuntu 16.04 que se encuentra en la red nativa IPv6, se realiza la prueba de conectividad e internet IPv6; el cual tiene asignada la dirección 2001:1000:200::2 /64. Como se observa en la Fig. 7, la solicitud de respuesta del ping es satisfactorio, lo que permite comprobar el funcionamiento de la interconexión del SENA CIMI con cualquier red que haga parte de IPv6, que en nuestro caso sería la Ruta 2 de la Fig. 4.

```
practica@practica-VirtualBox:~$ ping 2001:1000:200::2
64 bytes from 2000:1000:100::1: icmp_seq=1 ttl=62 time=121 ms
64 bytes from 2000:1000:100::1: icmp_seq=4 ttl=62 time=99.4 ms
```

Fig. 7. Ping conexión Red IPv6 nativa con internet IPv6.

VIII. CONCLUSIONES

Este nuevo protocolo permitirá implementar y controlar los procesos necesarios para cumplir con los requisitos de seguridad y privacidad de la información que permitan implementar las acciones determinadas en el plan de tratamiento de riesgos que demanda el SENA CIMI. Por su parte, los Proveedores de servicio tendrán que hacer transición de sus soluciones al protocolo IPv6, para atender los cambios exigidos por la reglamentación colombiana.

Una aproximación que demanda menor administración de recursos de procesamiento, se basa en un modelo en el que se implementa una red IPv6 nativa en el SENA CIMI, teniendo conectividad IPv6 con las oficinas remotas mediante 6PE, y acceso a la Internet IPv6 mediante 6to4. El uso de DNS64, combinado con traducción NAT64, hace posible implementar IPv6 de forma nativa sin perder el acceso a los servicios que se presten en la Internet IPv4. Dos opciones que se pueden usar cuando el ISP no soporte 6to4. Se tendrá que establecer políticas de tratamiento de información documentada en la medida necesaria para tener la confianza en que los procesos se han llevado a cabo según lo planificado, adicionalmente, deberá llevarse un control de cambios que le permitan tomar acciones para mitigar efectos adversos cuando sea necesario.

REFERENCIAS

- [1] Lacnic, "Portal IPv6 - LACNIC." [Online]. Available: <http://portalipv6.lacnic.net/reporte-de-terminacion-de-direcciones-ipv4/>. [Accessed: 22-Apr-2018].
- [2] MINTIC, "Guía de Transición de IPv4 a IPv6 para Colombia," no. 20, p. 57, 2015.
- [3] D. Maria, A. Bonilla, and D. M. D. P, "Bogota 2016," 2016.
- [4] M. Blanchet, "Migrating to IPv6," *Networks*, pp. 1–20, 2006.
- [5] F. F. Information, "Implementing Tunneling for IPv6 Restrictions for Implementing Tunneling for IPv6 Information About Implementing Tunneling for IPv6," vol. 0, no. 21, pp. 1–25, 2014.
- [6] D. Ko, "Analysis of IEEE 802 . 11E Standard in Terms of Real Time Application," vol. 00, no. c, pp. 0–6, 2006.
- [7] S. Perreault, J. P. Dionne, and M. Blanchet, "Ecdysis: Open-source DNS64 and NAT64," *Teren. Netw. Conf. 2010 Living Netw. Life, TNC 2010*, 2010.
- [8] L.E, F. Guerrero, and O. Polanco, "Diseño e implementación de una red IPv6 para transición eficiente desde IPv4, " *Ingeniería y competitividad*, vol 14, no. 1, pp. 9-22, 2012.
- [9] J. Suarez, M. Salcedo, C. Carmona, J. Ramirez, and G. Serna, "Effects of IPv6-IPv4 tunnel in Jitter of Voice over IPv6, measured in laboratory and over the National Research and Education Network of Colombia 'rENATA,'" *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 3, pp. 1380–1386, 2016.
- [10] O. Guide, "Cisco 2901 Integrated Services Router," no. June, pp. 1–8, 2013.
- [11] J. Doyle, *Routing TCP / IP , Volume II. .*
- [12] Cisco, "Cisco IOS IPv6 Configuration Guide," no. 6387, 2011.



Edgardo Javier Rúa Rangel
Ingeniero de Telecomunicaciones,
Universidad Santo Tomas seccional
Bucaramanga. Especialista en Redes
Corporativas de la Universitat
Politécnica de Catalunya (Barcelona
España). Actualmente se desempeña
como Instructor de Gestión Redes de
Datos y Telecomunicaciones – SENA
CIMI.

Áreas de interés: Seguridad informática, Sistemas Operativos,
Unix/Linux, Redes IP convergentes.

erua400@misena.edu.co

Diana Teresa Parra. Ingeniera en Telecomunicaciones,
Universidad de Pamplona. Magíster en Telemática,
Universidad Autónoma de Bucaramanga. Estudiante
Doctorado en Ingeniería, Línea en Informática, Universidad
Autónoma de Bucaramanga. Docente Asistente Facultad de
Ingeniería, Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Áreas de interés: Telemática, Adopción TIC. E-Mail:
dparra486@unab.edu.co