

aumento de la carga en la red que presupone el acceso inalámbrico y el aumento de los servicios.

El software XAVIA PACs WEB para clientes es de fácil entendimiento para los médicos que lo usan, ya que cuenta con una interfaz visual en sus 3 módulos muy interactiva.

Asimismo, en este sentido a partir de las mejoras que se proponen a la red se recomienda establecer de mane-

ra adicional redundancia de los enlaces principales a los equipos de diagnóstico y a los switches centrales de la red para que en caso de fallos la red continúe operativa. Extender la red de transmisión de imágenes entre otras dependencias hospitalarias de la provincia para tener la posibilidad de segundos diagnósticos y extender los servicios de copia de diagnósticos a los pacientes a través de la red Wifi.

## Referencias

- A. Trujillo Zea, C. R. I. (2007). Redalyc.TELEMEDICINA: Introducción, aplicación y principios de desarrollo - 261120984009.pdf. 21n.o 1, 78.
- Álvarez, L. R., y Vargas Solís, R. (2013). DICOM RIS/PACS Telemedicine Network Implementation using Free Open Source Software. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, 11(1), 168–171.
- HONGJI YANG, Z. L. (n.d.). Unlocking the Power of OPNET Modeler. Retrieved from [http://solutionsproj.net/software/opnet\\_unlock\\_pdf.pdf](http://solutionsproj.net/software/opnet_unlock_pdf.pdf)
- K. Delac, M. M. (n.d.). Overview of the DICOM Standard.pdf. 1, 39–44. Retrieved from [http://vcl.fer.hr/papers\\_pdf/Overview%20of%20the%20DICOM%20Standard.pdf](http://vcl.fer.hr/papers_pdf/Overview%20of%20the%20DICOM%20Standard.pdf)
- Miguel Chavarría Día, F. B. i R. (n.d.). Almacenamiento y Transmision de Imagenes PACs. Retrieved November 19, 2019, from [http://www.conganat.org/SEIS/is/is45/IS45\\_54.pdf](http://www.conganat.org/SEIS/is/is45/IS45_54.pdf)
- Nm, N., y G, V. (2016). La discusión de casos por videoconferencia mejora la eficiencia de la consulta externa de cirugía torácica. Archivos de Bronconeumología, 52(11), 549–552. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2016.04.002>
- Redes de Computadoras, 5ta Edición - redes\_de\_computadoras-freelibros-org.pdf. (n.d.). Retrieved November 19, 2019, from [https://bibliotecavirtualapure.files.wordpress.com/2015/06/redes\\_de\\_computadoras-freelibros-org.pdf](https://bibliotecavirtualapure.files.wordpress.com/2015/06/redes_de_computadoras-freelibros-org.pdf)
- Smith, J. J., y Berlin, L. (2012). Picture Archiving and Communication Systems (PACS) and the Loss of Patient Examination Records. American Journal of Roentgenology, 176(6), 1381–1384. <https://doi.org/10.2214/ajr.176.6.1761381>
- Whetherall, T. (n.d.). Computer Networking: A Top-Down Approach. Retrieved from [/content/one-dot-com/one-dot-com/us/en/higher-education/product.html](http://content/one-dot-com/one-dot-com/us/en/higher-education/product.html)



# Funciones de redes virtualizadas en red trunking digital eLTE

## Virtual network functions in eLTE digital trunking network

Ing. Fidel Alejandro Fernández Carcasés<sup>1\*</sup>, Ing. Raquel Leal Mieres<sup>2</sup>, MSc. Alejandro Ruiz Douglas<sup>3</sup>

Recibido: 02/2019 | Aceptado: 03/2019

### Palabras clave

Redes virtualizadas  
eLTE  
Comunicaciones móviles

### Resumen

La empresa cubana Movitel en el proceso de migración hacia los sistemas digitales de radio troncalizado se propone como objetivo principal brindar servicios de banda ancha con el despliegue de una red de cuarta generación, para alcanzarlo será necesario la implementación de nuevas herramientas y el desarrollo de aplicaciones que complementen las funcionalidades del sistema. Este trabajo abordará algunas de las soluciones para la transmisión de datos en banda ancha que Movitel ha implementado sobre la red eLTE —*enterprise Long Term Evolution*— de Huawei en su proceso de despliegue a nivel nacional, aprovechando los conceptos de las funciones de redes virtualizadas y redes definidas por software. La estructura de la investigación se compone por el análisis de la tecnología eLTE como sistema de comunicaciones móviles, el análisis de las arquitecturas de los sistemas NFV —*Virtualización de Funciones en Red*—, las pruebas experimentales realizadas con los equipos terminales para el acceso y las funcionalidades del sistema donde se aplicaron los conceptos de virtualización de funciones de redes. En conclusión, se presenta el esquema final de la solución de conectividad desarrollada mediante la implementación de los sistemas virtuales y las posibilidades de modelos de servicios en comparación con tecnologías emergentes para la transmisión de datos de banda ancha móvil.

### Keywords

Virtualized networks  
eLTE  
Mobile communications.

### Abstract

Movitel, in the process of migration to digital trunked radio systems, aims to provide broadband services with the deployment of a fourth generation network, to achieve this it will be necessary to implement new tools and develop applications that complement the functionalities of the system. This paper will address some of the solutions for broadband data transmission that Movitel has implemented on the Huawei eLTE network through the nationwide deployment process, taking advantage of the concepts of virtualized networks and software-defined networks. The research structure is the analysis of eLTE technology as a mobile communications system, the analysis of the architectures of the NFV systems, the experimental tests carried out with the terminal equipment for access and the functionalities of the system where

<sup>1\*</sup> Movitel, Cuba. fidel@movitel.co.cu

<sup>2</sup> Movitel, Cuba. raquel@movitel.co.cu

<sup>3</sup> Movitel, Cuba. douglas@movitel.co.cu

the virtualization concepts of network functions were applied. Finally, the final scheme of the connectivity solution developed through the implementation of virtual systems and the possibilities of service models in comparison to emerging technologies for mobile broadband data transmission is presented.

## Introducción

La empresa cubana Movitel es un operador que brinda servicios de radio troncalizado y se encuentra en el proceso de despliegue de un sistema de banda ancha digital de cuarta generación eLTE —*enterprise Long Term Evolution*—, para brindar soluciones a las empresas del país. La tecnología digital 4G eLTE del proveedor chino Huawei está basada en el estándar LTE, diseñada para alcanzar picos de velocidades máximas de 100Mbit/s en el enlace descendente y 50Mbit/s en el enlace ascendente en óptimas condiciones para brindar acceso a comunicaciones móviles de banda ancha (Agusti, Bernardo, Casadevall, Ferrús, Pérez-Romero, y Sallent, 2010). eLTE es una solución troncal de banda ancha empresarial diseñada para proporcionar comunicación a sistemas críticos en un amplio rango de escenarios, como aeropuertos, redes eléctricas, minería, puertos, extracción de petróleo y gas. La plataforma del sistema brinda servicios de voz de alta calidad, mensajería instantánea, transmisión de video de alta definición en tiempo real, geolocalización y comunicaciones de emergencia.

Los principales objetivos de la evolución de las redes móviles actuales son responder a los desafíos futuros y establecer el camino hacia las redes 5G con necesidad de alta capacidad y baja latencia. En este sentido se están considerando diferentes tecnologías, como la virtualización de funciones de red (NFV) y la red definida por software (SDN) para abordar las grandes demandas de acceso a datos. Los medios para una operación eficiente de los recursos de red podrían llegar a ser incluso más importantes que los costos futuros del elemento de red (Gokani, 2018).

La cantidad cada vez mayor de dispositivos que acceden a la red está en correspondencia con el incremento de aplicaciones y servicios que requieren nuevas formas de diseñar, administrar y operar las redes, por lo que las tecnologías SDN y NFV son testigos de la demanda de su aplicación. Sus funcionalidades se

utilizan para modificar el servicio y la arquitectura de la red. SDN permite controlar los dispositivos de red sin actualizar el software cada vez que se implementa un nuevo protocolo, mientras que NFV mejora las capacidades de red haciéndola más flexible y escalable (Costa-Requera y otros, 2015).

Aplicar estos conceptos actuales sobre la infraestructura existente puede aportar soluciones a las demandas insatisfechas y marcar las pautas de la evolución de las redes de manera flexible, escalable y funcional. Esto podría disminuir los altos costos de inversión que puede suponer un cambio de equipamiento, así como las molestas pérdidas de servicio que se introducen durante un proceso de actualización o interrupción de la infraestructura; como son cambios de equipamiento o fallas de software en los elementos de red.

## Materiales y métodos

Para el desarrollo de la investigación se emplearon métodos inductivos, que utiliza la observación directa de los fenómenos, la experimentación y el estudio de las relaciones que existen entre ellos. Se estudiaron las características fundamentales y los principios de funcionamiento que corresponden a las tecnologías de la red Trunking Digital eLTE y las Arquitectura NFV. Se realizó un estudio de las funciones de redes del sistema eLTE que se necesitaban para lograr la solución de conectividad y que no se podían implementar. Finalmente se estudiaron las posibilidades de incorporar estas funciones de redes al sistema actual mediante el uso las tecnologías de virtualización como SDN y NFV.

Para las pruebas y experimentos durante la investigación se utilizaron como materiales de desarrollo, los terminales de datos de la infraestructura eLTE (EG860 CPE —*Customer Premise Equipment*—), terminales portátiles y un servidor de propósito general RH2288 con altas capacidades

de procesamiento que permite el despliegue del soporte para los sistemas de virtualización.

La estructura de la investigación se compone por el análisis de las tecnologías mencionadas, las pruebas experimentales realizadas con los distintos protocolos de redes, túneles GRE —*Generic Routing Encapsulation*—, BGP —*Border Gateway Protocol*—, VRF —*Virtual Routing and Forwarding*—, el esquema final de la solución de conectividad desarrollada mediante la implementación de los sistemas virtuales y las posibilidades de modelos de servicios en comparación a tecnologías emergentes para la transmisión de datos de banda ancha móvil.

## Trunking Digital eLTE 4G y Arquitecturas NFV

eLTE de Huawei de manera simplificada es una infraestructura de comunicaciones móviles de cuarta generación que cuenta con un conjunto de servidores de propósito general en el que se despliegan las aplicaciones que brindan los servicios básicos del sistema. Por otra parte, cuenta con un núcleo de red o CoreNetwork en inglés (eCNS210) que es el encargado de garantizar la conmutación y la transmisión de los paquetes de datos hacia las radiobases (eNodeB) las que deben establecer las comunicaciones directas con los terminales y brindar amplias aéreas de cobertura para el acceso de los usuarios (Figura 1).

La red troncalizada eLTE de Huawei en sus primeras versiones de software está diseñada para proveer un grupo de funcionalidades donde cada empresa o industria garantiza los servicios básicos que brinda la solución de manera centralizada, sin embargo, la infraestructura se puede convertir en una red de transporte para múltiples empresas aprovechando la capacidad de conmutación de paquetes que ofrece el Core de la red (eCNS).

Entre los terminales disponibles que comercializa el fabricante para la transmisión de datos se encuentra el EG860 CPE, este es un terminal de acceso inalámbrico de banda ancha que sirve como dispositivo de conectividad en una red privada de datos. Se puede instalar en interiores o exteriores. Soporta varios mecanismos de enrutamiento para facilitar el acceso a redes privadas como son Routing Behind MS (la tarea del enrutamiento se realiza en el Core de la red), NAT —*Network Address Translation*— en combinación de Port Forwarding, y el empleo de otros protocolos como GRE y Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP) usando tablas de rutas estáticas para enrutar VPNs —*Virtual Private Network*— (Huawei, 2017).

eLTE, permite crear APNs —*Access Point Name*— por cliente donde cada uno podría tener su propio rango de direcciones IP para sus terminales. En la versión actual del sistema estos rangos no pueden

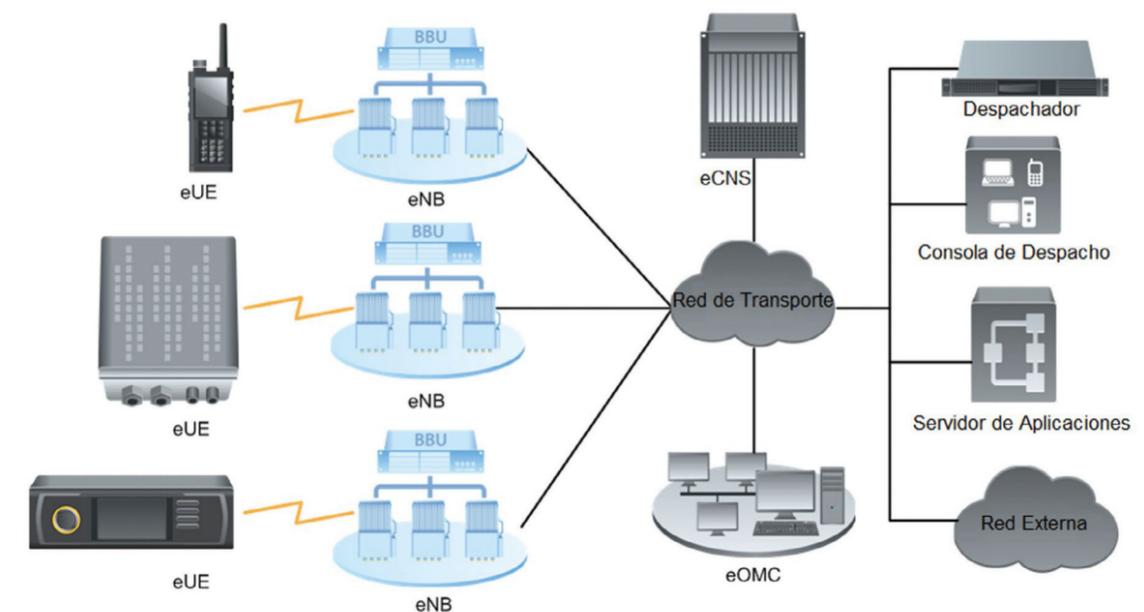


Figura 1. Esquema simplificado de eLTE

solaparse sin provocar la pérdida de servicio del sistema troncalizado, representando una limitante para el enrutamiento de paquetes y en la escalabilidad del sistema. La introducción de los conceptos de NFV y SDN podrían abrir las puertas para lograr cubrir en alguna medida las limitantes de la red actual, haciéndola más flexible escalable y eficiente, sin incurrir en gastos económicos por conceptos de inversión en equipamiento de uso específico o servicios de actualización de software de los mismos.

La virtualización llega también a las telecomunicaciones; ya no solo se virtualizan los sistemas sino también las redes. Con el fin de obtener redes más escalables y flexibles, que permitan una mayor innovación en los servicios ofrecidos, aparecen las tecnologías NFV —*Network Function Virtualization*— y SDN —*Software Defined Network*—. Con ellas se consigue desplazar la funcionalidad de red al software, utilizar servidores de propósito general en lugar de dispositivos específicos, APIs para su desarrollo y organizar y automatizar los servicios de red eficientemente (Santana, 2018).

Las arquitecturas de NFV más comunes de manera resumida están separadas por varias capas donde se encuentra generalmente un hardware de propósito general y altas prestaciones, sobre el cual se despliega algún Hypervisor como plataforma de

virtualización, en este, se instalan las máquinas virtuales que son conocidas como funciones de red virtualizadas o VNFs y finalmente una capa superior que incluye operación, interfaz de usuario, sistema de gestión y control, en una plataforma integral, que administra dinámicamente todos los recursos, conocido como el Orquestador. En la literatura actual respecto al tema se encuentran muchos esquemas de las capas de un sistema NFV, y además se detallan cada una de las funciones de los elementos que lo componen. (Figura. 2) (McCann y Shaw, 2016).

El despliegue, asimilación y puesta en marcha de un sistema NFV y SDN completo puede llegar a ser bastante complejo, así como alcanzar a sustituir las funciones de red y lograr la separación entre el software y hardware específico.

### Solución de conectividad implementada

Aplicando estos conceptos se desplegó el Hypervisor Esxi 6.5 de VMWare sobre un servidor RH2288 de Huawei de altas prestaciones con interfaces de 10Gb/s. Entre las funciones de red que se necesitaban virtualizar se encontraba implementar enrutamiento con protocolos MP-BGP, túneles GRE, túneles L2TP, IPsec, Vlans y posibilidad de trabajar con VRFs y VPN4 (VPNs de nivel 4). Se

instaló un Router virtual que agrupaba todas estas funcionalidades de redes. RouterOS es el sistema operativo de los RouterBoard, el cual, puede ser instalado en una PC para convertirla en un enrutador con todas las funciones necesarias como son: enrutamiento, firewall, administración de ancho de banda, punto de acceso inalámbrico, enlace de backhaul, puerta de enlace de punto de acceso, servidor VPN y más (Mikrotik, 2019).

Se decidió separar algunas de las funciones de los protocolos de red necesarios en dos Routers Virtuales, para lograr una mayor eficiencia en la ejecución de los procesos y el manejo de las tablas de rutas, además de crear un punto de respaldo ante fallas de cualquiera de los dos sistemas. Finalmente, la gestión no se realiza de manera centralizada y no existe un “orquestador”, por el momento, que maneje los recursos y aplique configuraciones de redes dinámicamente. Por tanto, se realiza la gestión del Hypervisor Esxi usando el servicio Web Cliente y la herramienta Winbox para la gestión de los routers virtuales (Figura 3).

Con las principales funciones de redes virtualizadas, se decidió utilizar el terminal de acceso a datos EG860(CPE) para las soluciones de conectividad. Entre los mecanismos de enrutamiento que soporta este terminal se seleccionó la variante del túnel GRE por permitir una mayor flexibilidad en el manejo de las rutas y ser más adecuado para dar servicio a distintos

clientes. Sin embargo, cada CPE solo permite manejar dos túneles GRE presentando una limitación en cuanto a soluciones punto-multipunto y no cuenta con protocolos para el monitoreo del tráfico de datos, como SNMP —*Simple Network Management Protocol*—.

En la solución integral se concibió la utilización de dos routers virtuales que lograrán cumplir dos funciones fundamentales respectivamente: establecer una conexión punto a punto con el proveedor de las VPNs empresariales en la que se utilizarían los protocolos VRFs y BGP para coleccionar las tablas de rutas de los clientes y funcionar como punto concentrador de los túneles GRE asociados a VRFs, eliminando las limitaciones existentes de escalabilidad punto-multipunto. Además, ofrece la posibilidad de mostrar una estadística referente al tráfico de datos en el uso de los enlaces.

En detalles, el acceso de las VPNs empresariales de los clientes se realiza mediante una instancia BGP proveniente del Backbone IP-MPLS —*Multiprotocol Label Switching*— por la cual se difunden las tablas de rutas de cada empresa y se agrupan por VRFs en el Router Virtual 2.

El Router Virtual 1 concentra el acceso a los CPE de cada entidad mediante el encapsulamiento con túneles GRE y los asocia con su VRF correspondiente, que comparten información de enrutamiento dinámico entre los dos Routers haciendo uso de una instancia BGP, de esta forma la solución es capaz de brindar interconexión entre los puntos de conectividad eLTE

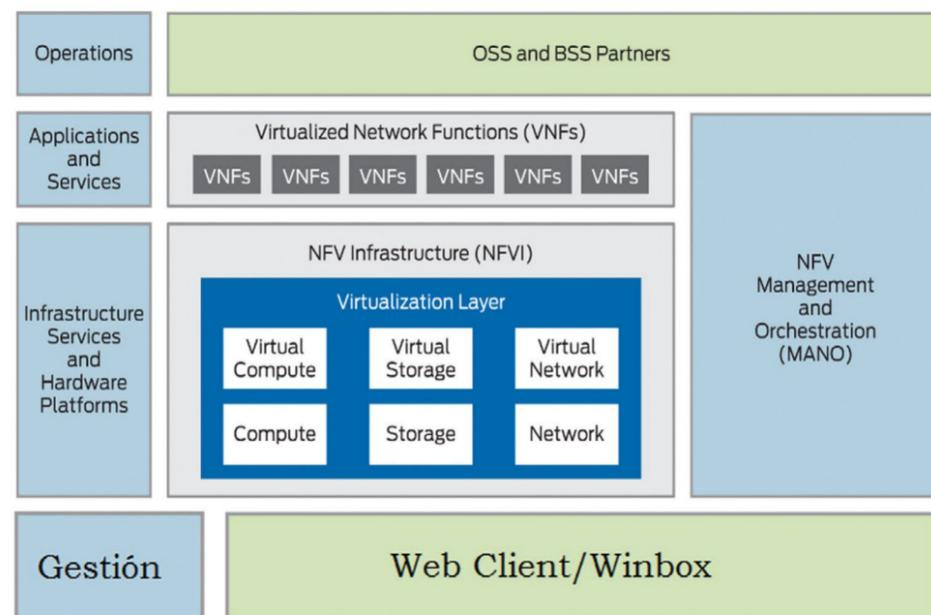


Figura 2. Esquema referente de la arquitectura en sistemas NFV

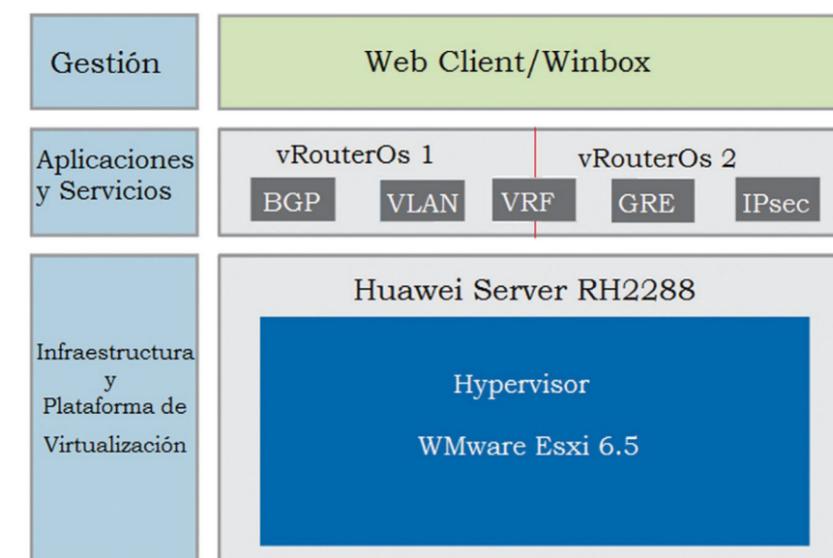


Figura 3. Esquema en capas de la solución de NFV

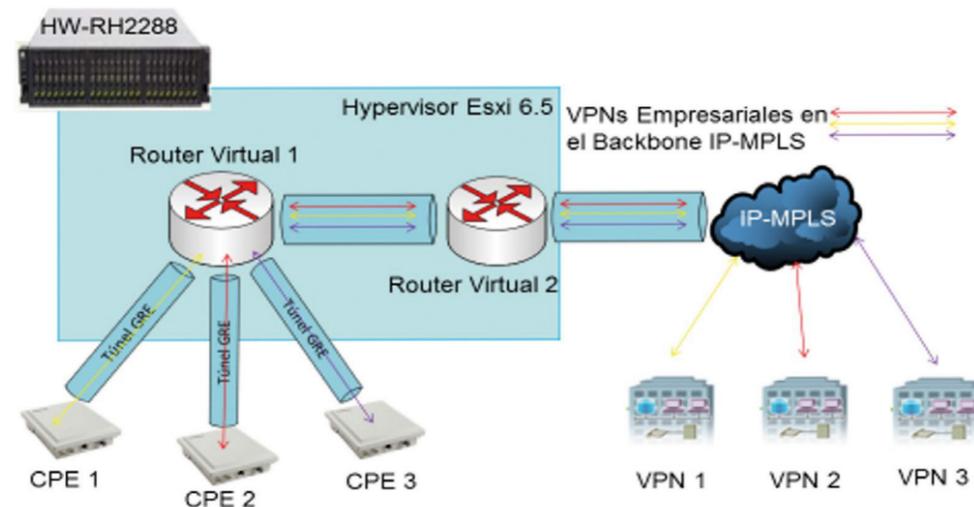


Figura 4. Arquitectura de la solución de conectividad

(CPEs) de los clientes y los que ya están conectados al Backbone IP MPLS del proveedor de servicios de su entidad (Figura 4).

Las funciones de red virtualizadas nos permiten incorporar funcionalidades para aumentar la seguridad de los enlaces, como el uso del protocolo IPsec para el cifrado de los túneles GRE, que es compatible con el terminal de datos EG860 de forma que se puede explotar al máximo las capacidades del sistema. Por otra parte, el EG860 como terminal de datos tiene limitaciones en las capacidades de enrutamiento y en la versión actual de su sistema no permite hacer uso de configuraciones de protocolos dinámicos para el aprendizaje de las rutas. Esto provoca que el operador tenga que agregar las tablas de rutas manualmente para garantizar la conectividad. El uso de otros protocolos para las VPNs, como la implementación de los túneles L2TP que puede ser una solución atractiva en algunos escenarios para mejorar la transparencia, pudiera verse afectado por el solapamiento de los rangos de direcciones IP de las empresas y el crecimiento de los puntos a conectar.

Existe una gama completa de soluciones de conectividad que se brindan como servicios por parte de algunos proveedores de infraestructuras de comunicaciones, dentro de estos servicios encontramos el Fixed Wireless Access (FWA), Acceso Inalámbrico Fijo, por su traducción al español. Este abre un mundo de oportunidades debido al gran número de sitios desatendidos en cuanto a conectividad, lo cual representa una

oportunidad de crecimiento rentable de FWA para los operadores 3GPP —The 3rd Generation Partnership Project— actuales. FWA es una alternativa más rentable y eficiente para proporcionar banda ancha en áreas con acceso limitado a servicios de banda ancha fija como DSL —Digital Subscriber Line—, cable o fibra. La solución de conectividad desarrollada sigue un esquema similar al servicio FWA y puede tomarse como ejemplo de las aplicaciones que se pueden desarrollar para explotar la infraestructura al máximo brindando servicios de conectividad a distintos sectores empresariales.

### Conclusiones

Aplicar soluciones de NFV y SDN en la red de Movitel permitió optimizar el empleo de los recursos de cómputo de los que se disponía e incrementar la variedad de servicios a los clientes. Los trabajos realizados permitieron convertir la red de banda ancha eLTE desplegada en Cuba, en una red de transporte que garantiza servicios a múltiples empresas. El empleo de varios Routers Virtuales separando funcionalidades, posibilitó a Movitel ofrecer mayor calidad en los servicios y una mejor gestión de los mismos. Durante el estudio de las soluciones implementadas se identificó un grupo de limitaciones que tiene el sistema y sus posibles soluciones. A finales de 2019, más de 50 empresas en Cuba hacen uso de estas soluciones. Por el impacto que han tenido las mismas en dar respuesta a solicitudes en lugares hasta el momento inaccesibles

a las variantes ofrecidas por otros proveedores de conectividad, se considera que estas, han hecho un aporte en la Informatización de la Sociedad Cubana. El

estudio e implementación de estas soluciones crea un precedente en la empresa para la asimilación de nuevas tecnologías.

### Referencias

- Agusti, R., Bernardo, F., Casadevall, F., Ferrús, R., Pérez-Romero, J., y Sallent, O. (2010). LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles. España.
- Costa-Requena, J.; Llorente, J.; Ferrer, V.; Ahokas, K.; Premsankar, G.; Luukkainen, S.; López, O.; Uriarte, M.; Ahmad, I.; Liyanage, M.; Ylianttila, M.; Montes de Oca, E. (2015). SDN and NFV integration in generalized mobile network architecture, *European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. Francia.
- Gokani, N. (2018). *Software Defined Networking (SDN) and Network Function Virtualization (NFV) Market Landscape Assessment by Type, Opportunities and Higher Mortality Rates by 2027*. Obtenido de <https://exclusivereportage.com>: <https://exclusivereportage.com/2018/11/21/software-defined-n>
- Huawei. (2017). *Huawei DBS3900 Product Documentation eLTE V100R003C00*. Obtenido de Huawei Enterprise: [http://support.huawei.com/enterprise/portal/en/eLTE\\_Information\\_Service\\_Portal\\_en.html](http://support.huawei.com/enterprise/portal/en/eLTE_Information_Service_Portal_en.html)
- McCann, S., y Shaw, H. (2016). *Learn About Network Functions Virtualization*. Obtenido de Juniper Networks: [https://www.juniper.net/documentation/en\\_US/learn-about/LearnAbout\\_NFV.pdf](https://www.juniper.net/documentation/en_US/learn-about/LearnAbout_NFV.pdf)
- MikroTik. (2018). *Manual: Virtual Routing and Forwarding*. Obtenido de MikroTik Documentation: [https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Virtual\\_Routing\\_and\\_Forwarding](https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Virtual_Routing_and_Forwarding)
- Santana, C. (2018). *NFV y SDN: las redes del futuro y del presente*. Obtenido de t3chfest: <https://t3chfest.uc3m.es/2018/programa/nfv-sdn-las-redes-del-futuro-del-presente/?lang=es>