



Análisis comparativo de infraestructuras de redes SDN (Software Defined Networking) y redes tradicionales IP

Comparative analysis of SDN network infrastructures (Software Defined Networking) and traditional IP networks

Vega Guallpa, Alex Javier; Andrade Cárdenas, Danny Patricio; Pinos Castillo, Luis Fernando

Alex Javier Vega Guallpa

ajvega92@est.ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca, Ecuador

Danny Patricio Andrade Cárdenas

dpandradec@ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca, Ecuador

Luis Fernando Pinos Castillo

lfpinosc@ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca, Ecuador

Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación

CIDEPRO, Ecuador

e-ISSN: 2588-1000

Periodicidad: Trimestral

Vol. 6, No. 43, 2022

editor@journalprosciences.com

Recepción: 3 Marzo 2022

Aprobación: 15 Abril 2022

DOI: <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp71-82>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Cómo citar: Vega Guallpa, A. J., Andrade Cárdenas, D. P., & Pinos Castillo, L. F. (2022). Análisis comparativo de infraestructuras de redes SDN (Software Defined Networking) y redes tradicionales IP. Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación, 6(43), 71-82. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp71-82>

Resumen: El presente artículo presenta un análisis comparativo de infraestructura de redes SDN y redes tradicionales IP, con el fin de simular estas redes y determinar las ventajas y costos de rendimiento de las redes. Los objetivos planteados en el presente estudio fueron a). Realizar un estudio teórico sobre la arquitectura de las redes SDN, herramientas de manejo, protocolos y controladores, b). Diseñar un ambiente de pruebas de las redes de un ISP básico y red SDN, c). Evaluar el funcionamiento de las redes propuestas a través de las configuraciones que permitan la conexión entre los equipos. Para lo cual se utilizó un enfoque cualitativo, en donde se describen las características de los equipos de las redes entre las cuales consiste de un Routerboard de Mikrotik, computadoras, OpenFlow, Wimbox, máquinas virtuales, mismas que están interconectadas y se configuran para proveer el servicio de internet. Como resultados se muestra los parámetros de ejecución, infraestructura, reutilización, virtualización, reglas aplicadas a las redes ISP básica y red SDN. Finalmente se discutirá sobre los resultados obtenidos y las conclusiones en base a los objetivos planteados.

Palabras clave: redes definidas por software, virtualización, red tradicional.

Abstract: This article shows a comparative analysis of SDN network infrastructure and traditional IP networks to act out these networks and determine the advantages and performance costs of the networks. The objectives of this study were a). Conduct a theoretical study on the SDN networks architecture, management tools, protocols, and controllers, b). To design a test environment for a basic ISP and SDN network, c). Evaluate the performance of the network through the settings that allow the equipment connection. A qualitative approach was used in this research for describing the characteristics of the network equipment which involve Mikrotik Routerboard, computers, OpenFlow, Wimbox, virtual machines. They are interconnected and set up to provide internet service. The results showed the execution parameters, infrastructure, reuse, virtualization, rules applied to the basic ISP networks and SDN networks. Finally, both the

obtained results and the conclusions will be discussed based on the raised objectives.

Keywords: software-defined Networks, virtualization, traditional network.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un avance gigantesco en las redes de comunicaciones las mismas que han ayudado a la interconexión entre los usuarios y a su vez implica la necesidad de mejorar los servicios de conexión que prestan los Proveedores de Servicio de Internet, de tal manera surge un nuevo paradigma digital de las Redes Definidas por Software (SDN).

“En la Arquitectura SDN, la función de control de red es separada de la función de plan transferencia de datos. A su vez, las funciones de control de red pueden ser centralizadas en uno o más controladores de SDN” (2018). Esto ha permitido tener un mayor control en la gestión de los dispositivos de red en flexibilidad de comunicación empleando un controlador centralizado que una a todos los dispositivos.

Una alternativa como solución para mejorar las infraestructuras tradicionales es la incorporación de una red SDN presentando de forma separada el plano de datos a nivel de hardware con el plano de control a nivel de software ejecutado en un controlador virtualizado para todos los equipos de red, es por esa razón que el presente artículo surge del interés de desarrollar un análisis comparativo entre las redes tradicionales y las redes SDN para determinar la eficiencia de la misma.

DESARROLLO

Redes Definidas por Software (SDN)

“Las redes definidas por software (SDN) es una arquitectura emergente que es dinámica, manejable, rentable y adaptable, lo que le hace ideal para la naturaleza dinámica de gran ancho de banda de las aplicaciones actuales” (Open Networking Foundation, 2014).

Según Romero, V. et al (Romero Castro, et al., 2018) “Las redes definidas por software permiten incrementar los beneficios de la virtualización de los Data Center, aumentando la flexibilidad y la utilización de recursos, reduciendo así los gastos generales y aquellos derivados de la infraestructura” (Romero Castro, et al., 2018).

Arquitectura de las Redes Definidas por Software (SDN)

Las redes definidas por software permiten realizar un monitoreo centralizado, la cual permite tener un control y seguimiento todo lo que pasa por la red, ya sea capturar SPAN (correos no deseados), etc. (Aguilar Cruz, 2015)

La arquitectura de un SDN está dividida en tres capas: capa de aplicación, capa de control y capa de datos, como se muestra en la siguiente ilustración.

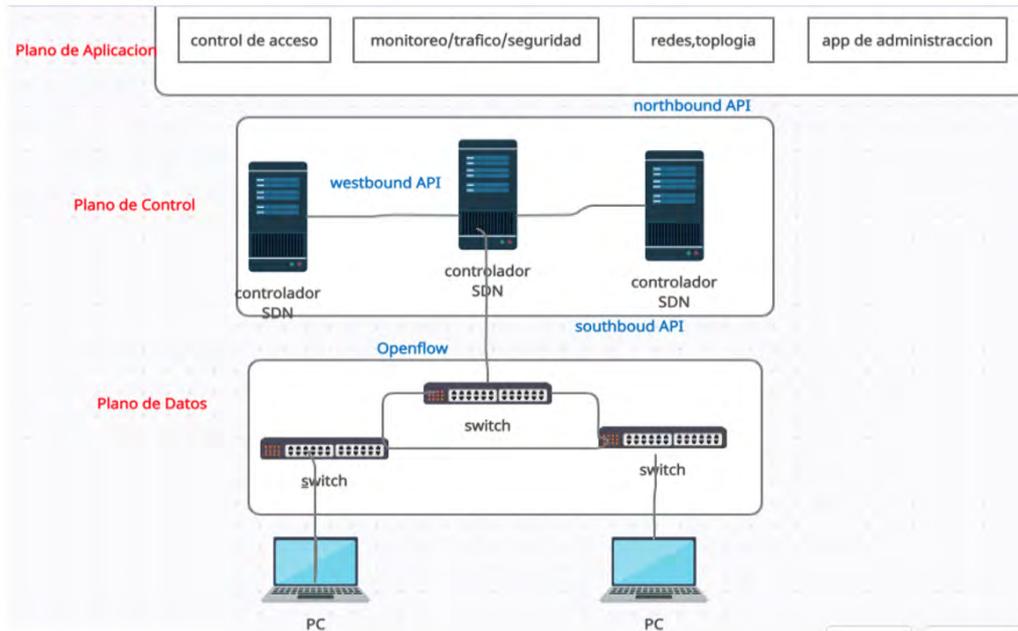


Ilustración 1. Arquitectura de las Redes Definidas Propio

• **SDN Plano de Datos**

Esta capa incorpora los recursos que interactúan con los clientes, en los recursos se incorporan la virtualización, conectividad, disponibilidad, seguridad y la calidad (Oviedo Bayas & Zambrano Vega, 2021). “Esta capa cumple la función de enviar datos hacia la capa de controlador y así revivir datos para los clientes y recursos” (Oviedo Bayas & Zambrano Vega, 2021).

• **SDN Plano de Control**

“La capa de control consiste en uno o un grupo de dos o más controladores SDN que coordina las políticas de administración, así como la comunicación con las otras capas de la arquitectura de SDN usando interfaces y protocolos específicos” (Gonzalez, Flauzac, & Nolot, Evolución y Contribución para el Internet de las Cosas por las emergentes Redes Definidas por Software, 2018).

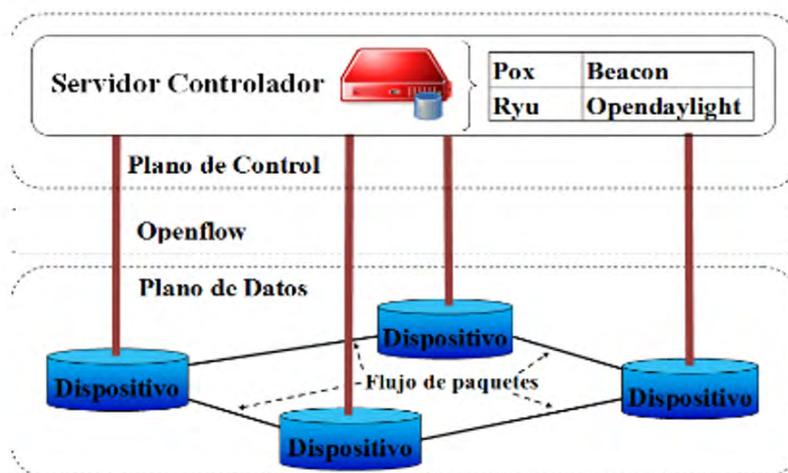


Ilustración 2. Arquitectura de un Plano de Datos y de Control Fuente: (Bernal & Mejía, 2016)

• **SDN Plano de Aplicaciones**

“La capa de ampliación es constituida por un conjunto de aplicaciones que comunican sus requisitos de red a la capa de control SDN” (González, Flauzac, & Nolot, Evolución y Contribución para el Internet de las Cosaspor las emergentes Redes Definidas por Software, 2018).

Según Marín, Y. (Marín Muro, 2016) establece que “Permite crear aplicaciones para automatizar tareas de configuración, provisión y despliegue de nuevos servicios en la red” (Marin Muro, 2016).

En la siguiente figura se muestra la iteración entre las aplicaciones de los usuarios y los servicios de comunicación de SDN con un API.

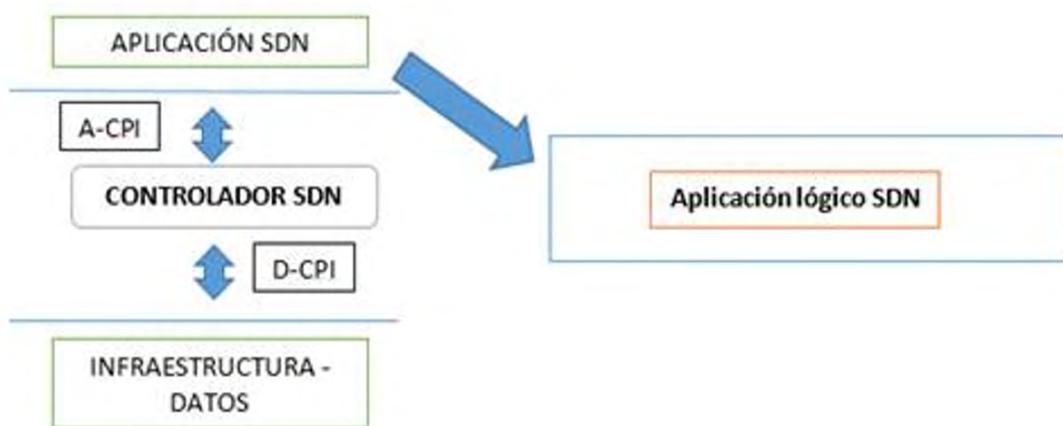


Ilustración 3. Arquitectura del Plano de Aplicación

• **Protocolos SDN**

En la actualidad existen varios protocolos de Redes Definidas por Software (SDN) para aplicar a las diferentes arquitecturas de red. A continuación, se describen las más utilizadas:

OpenFlow

“El protocolo openflow permite la comunicación entre switch y el controlador” (Velásquez Vargas W. , 2013).Open Flow utiliza los flujos para detectar el tráfico de red aplicando reglas que son programables por el controlador SDN, también se puede especificar un nodo específico para el tráfico que a su vez se puede rutear (Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI), 2017).

NetConf

“NETCONF cumple con el objetivo de simplificar la reconfiguración del dispositivo y actúa un bloque de construcción para la gestión, pero realmente no permite la separación entre planos de datos y de control” (Valencia, Santacruz, Becerra, & Padilla, 2015).

Herramientas Disponibles para la implementación SDN

Las herramientas para la implementación de un SDN se detallan a continuación:

• **Mininet**

“Mininet es un emulador de red que crea una red de hosts virtuales, conmutadores, controladores y enlaces” (Colaboradores del Proyecto Mininet). Esta herramienta utiliza una virtualización ligera de los destinos dispositivos que componen una red estas pueden ser router y switch, Los dispositivos virtuales creados por la herramienta Mininet se crean utilizando a nivel de software en vez de usar hardware (Velásquez Vargas W. , 2013).

- **Network Simulator (NS-3)**

“En las herramientas de simulación de redes denominado (NS3) se tiene soporte para OpenFlow y NS2 tiene una funcionalidad más sencilla, sin embargo, no tiene soporte para OpenFlow, por lo cual es necesario escribir todo el script de código de la topología, flujos de información, monitoreo, protocolos y el comportamiento de la red para trabajar en un esquema SDN” (Torres Quijije & Zuñiga Paredes, 2020)

Pinzón, C. et al (Valdivieso Pinzón, Cajas Guijarro, Mejía Navarrete, & Bernal Carrillo, 2017) menciona que “Un nodo en NS3 es una computadora o host a la cual se le pueden añadir ciertas funcionalidades como el stack de protocolos, aplicaciones o interfaces de red (Valdivieso Pinzón, Cajas Guijarro, Mejía Navarrete, & Bernal Carrillo, 2017)”.

Network Simulator (NS-3)

“En las herramientas de simulación de redes denominado (NS3) se tiene soporte para OpenFlow y NS2 tiene una funcionalidad más sencilla, sin embargo, no tiene soporte para OpenFlow, por lo cual es necesario escribir todo el script de código de la topología, flujos de información, monitoreo, protocolos y el comportamiento de la red para trabajar en un esquema SDN” (Torres Quijije & Zuñiga Paredes, 2020)

Pinzón, C. et al (Valdivieso Pinzón, Cajas Guijarro, Mejía Navarrete, & Bernal Carrillo, 2017) menciona que “Un nodo en NS3 es una computadora o host a la cual se le pueden añadir ciertas funcionalidades como el stack de protocolos, aplicaciones o interfaces de red (Valdivieso Pinzón, Cajas Guijarro, Mejía Navarrete, & Bernal Carrillo, 2017)”.

Estudios previos

Las Redes Definidas por Software (SDN) actualmente representan a una tecnología aplicada para el diseño y la operación de las redes de comunicación, operando en el tráfico de una determinada red.

Por esta razón varios autores han realizado proyectos enfocados en el tema con el fin de mejorar redes con protocolos OpenFlow que define la comunicación estándar entre el control y reenvío de las capas del SDN.

Un proyecto similar realizado en la Universidad Oberta de Catalunya por (Arias Alvarez) con el tema “SDN: QoS en Redes Virtuales Multi-Tenant con OpenDaylight y Mininet”, el cual hace referencia a que mediante las políticas QoS, se prioriza la detección de la congestión en la red, con dos redes virtuales en tiempo real esto realizado en un entorno gráfico de Mininet que es una herramienta que actúa como emulador para crear topologías de red sin disponer de hardware. (Arias Alvarez)

Con el fin de optar por el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones, Chafloque, J (2018) presenta una tesis nombrada “Propuesta de diseño de una red de datos de área local bajo la arquitectura de redes definidas por software para la Red Telemática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos”, que se basa en el controlador Opendaylight, utilizando RESTCONF como protocolo trabajando bajo software libre, automatizando las redes y dando seguridad a las mismas. (Chafloque Mejia, 2018)

Díaz. J. (2020) presenta un proyecto titulado “Análisis comparativo de intercambio de paquetes entre redes definidas por software y redes tradicionales, apoyado en herramientas de simulación Mininet”, realizando la simulación con Mininet y Packet Tracer, para realizar el análisis entre las dos redes, notando así la diferencia en cuanto a los paquetes enviados evidenciando velocidad de las redes SDN. (2020)

METODOLOGÍA

Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cualitativo debido a que se inicia con una descripción de una red ISP tradicional básica, su arquitectura, el funcionamiento y los elementos que la componen, luego se detallan las herramientas y protocolos usados para la simulación de las Redes Definidas por Software (SDN).

Nivel de investigación

El nivel de investigación es de tipo descriptivo y explicativo ya que se desea especificar las características de un ISP usando la red SDN propuesta, así mismo el protocolo Open Flow y también la funcionalidad del modelo propuesto frente al uso tradicional de una red básica.

Población y muestra

No aplica.

Procedimiento

Para el desarrollo de la propuesta se aplicaron las siguientes fases:

- Fase 1: Selección de las herramientas de simulación y protocolos de red SDN.
- Fase 2: Diseño de una Red ISP básica Tradicional y Red SDN.
- Fase 3: Despliegue de la Red SDN y la red Tradicional ISP
- Fase 4: Pruebas. Se valida la funcionalidad de los componentes de la red virtual SDN y la red tradicional ISP.

RESULTADOS

Para el análisis se plantearon dos escenarios de las cuales tendrán dos tipos de redes la WAN ocupara el primer puerto del RouterMiKrotik y otro la LAN cada red con sus respectivas direcciones IP según me asigne el proveedor de internet, dentro de la LAN se brindará a los puertos direcciones ips a los dispositivos conectados con el objetivo que exista interconectividad y el acceso al servicio de internet.

La primera prueba se hizo el funcionamiento de una red básica ISP como se muestra en la ilustración 4 y sus componentes, luego la propuesta de una red SDN se observa en la ilustración 5 con la virtualización del protocolo OpenFlow.

Para la práctica se utilizaron las herramientas de Cisco Paket Tracer, Virtual Box, WimBox, RouterMiKrotik y el protocolo OpenFlow virtualizados.

Escenario 1 de una Red básica ISP en un escenario Físico

El siguiente diagrama de red está compuesto por un switch, Routerboard de MiKroTik, dos computadoras en donde la una tendrá el software Wimbox para la respectiva configuración y la otra será el cliente para la conexión de internet.

RED ISP TRADICIONAL

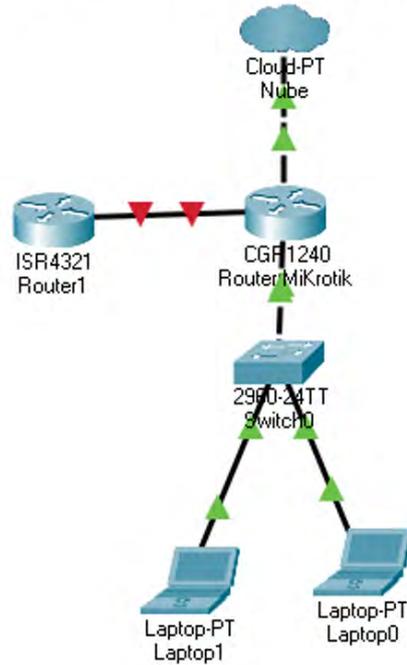


Ilustración 4. Diagrama de una red básica de un ISP
Elaborado por: los autores

Escenario 2 de una SDN en un entorno virtual

Para el diseño de una red SDN se utilizaron una laptop en donde se virtualizan el Routerboard de MiKroTik, Wimbox, controlador OpenFlow y otra laptop que es el cliente que se conecta el internet por medio de la configuración del router.

RED ISP SDN

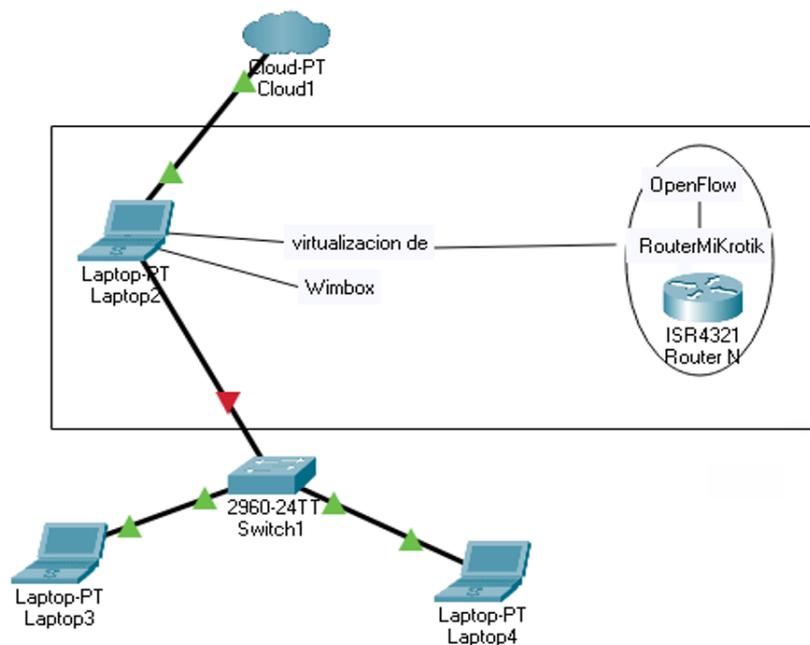


Ilustración 5. Propuesta de una red SDN
Elaborado por: los autores

Ejecución

Los resultados obtenidos de este proyecto se reflejan en los siguientes parámetros, cabe mencionar que fueron tomada de la herramienta propia de monitoreo de redes del Routerboard MiKroTik que es utilizado por la mayoría de proveedores de servicio de red, además ya viene incorporado el controlador OpenFlow.

Infraestructura

Una infraestructura física de una red ISP utiliza varios routers MiKroTik por lo que representan mayores costos de equipos y consumo de energía, lo contrario sucede al utilizar redes SDN, los mismos equipos tales como servidores, routers se puede tener en un solo equipo virtualizado. Como se observa en la siguiente figura.



Ilustración 6. Router Físico vs Router Virtualizados
Elaborado por: los autores

Reutilización

Se pueden reutilizar los equipos es decir en una red SDN se puede poner a un solo dispositivo como administrador de la red en vez de tener una granja de servidores como en una red tradicional. Por lo tanto, una red SDN facilitan el manejo de los routers, servicios, almacenamiento de tal manera que se pueda gestionar la red más rápida eficiente.

Virtualización

El tema de la virtualización de las redes es la principal función de un SDN y más para una empresa ISP la cual ayuda a renovar la arquitectura de la red y sus servicios, con la creación de recursos lógicos como se muestra en la ilustración 7 se puede tener varios routers virtualizados en un solo equipo, mientras que en una red tradicional se requiere de varios routers físicos.

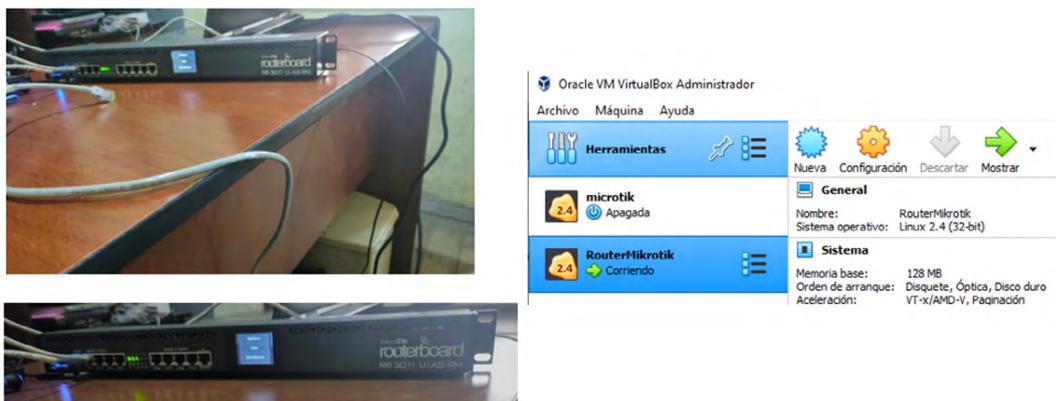


Ilustración 7. Varios MiKroTik físicos vs MiKroTik virtualizados
Elaborado por: los autores

Agregar Actualizaciones o Funciones

Para la actualización de un router físico MiKroTik existen problemas como la incompatibilidad con las nuevas versiones o incorporar funciones lo cual incita a la compra de nuevos equipos, mientras que en una red SDN, un router virtualizado simplemente se descarga y se actualiza a la nueva versión.

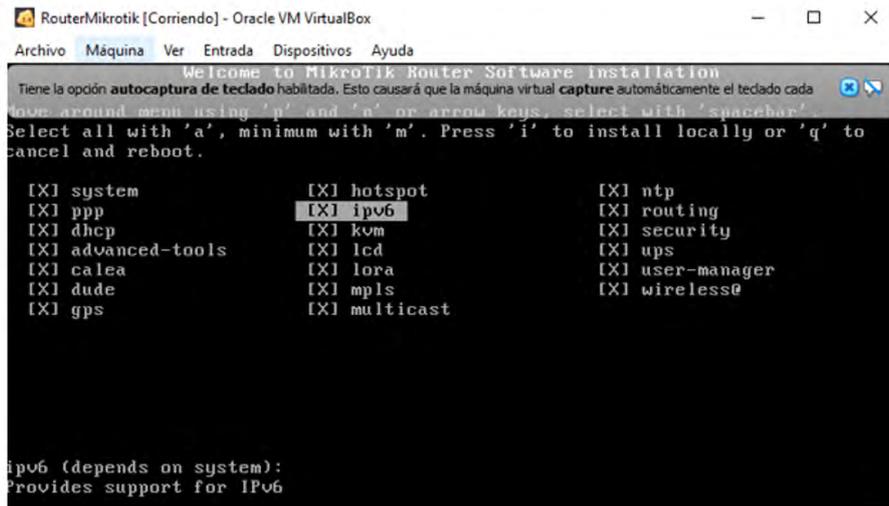


Ilustración 8. Agregar o Quitar Funcionalidades
Elaborado por: los autores

Reglas

Permite implementar reglas o restricciones para una cierta lista de direcciones o host, que tengan varias solicitudes para un servidor, la cual se podría que el host no vuelva aparecer en la lista de equipos conectados en una red específica.

Configuración

Para la administración y control de los equipos de red en un SDN se puede utilizar un solo equipo en la que estén alojados varios routers virtualizados y mediante el software WimBox se administran cada uno de ellos, mientras que en un ambiente con equipos físicos se requiere la conexión cableada de los todos los routers con el equipo que lo configura.

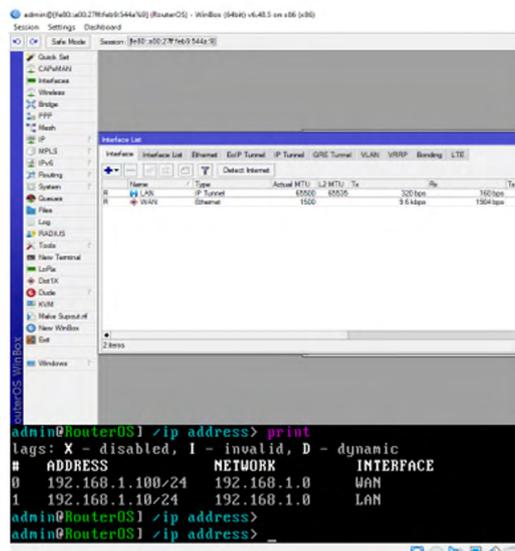
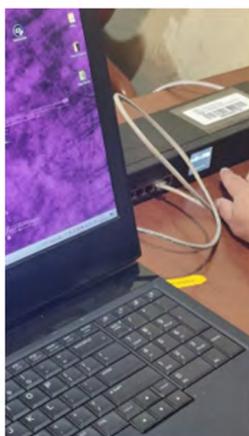


Ilustración 9. Configuración de router físico vs router virtualizado
Elaborado por: los autores

DISCUSIÓN

El estudio realizado ha permitido evidenciar que al transformar una red tradicional a una red SDN, presenta varias funcionalidades de aspecto positivo como la centralización de la inteligencia de la red en un solo controlador SDN, facilitando la configuración y administración de las redes complejas de forma óptima (2018), cambiar una red tradicional a una red SDN en una empresa ISP, representa un cambio radical en su arquitectura. La administración de las SDN requiere de especialistas en esta área, es decir personal con conocimiento de programación en redes, manejo de controladores y sistemas operativos de red, gestión de las aplicaciones y servicios.

Las redes definidas por software permiten la reutilización de los equipos que conlleva a reducir los costos de inversión y el consumo de energía eléctrica de los dispositivos. Como se demostró en la parte de la práctica de esta investigación, al tener un solo dispositivo físico en la que se crean virtualmente varios routers MiKroTik para administrar la red, esto también simplifica costos en la operación y ejecución de los sistemas.

Entre las funcionalidades más importantes que ofrecen las redes SDN, es la virtualización de los equipos que componen la red, creando una red inteligente en donde se puede simular una conexión de varias redes, como se comprobó al simular las redes LAN y WAN configurando un router MiKroTik virtualizado para dar acceso de internet a los dispositivos conectados, presentando las ventajas de optimizar la eficiencia de los equipos, flexibilidad, rendimiento, escalabilidad y programabilidad.

Al interactuar con las redes IP tradicionales y redes SDN, se evidencia la facilidad de actualizar o agregar nuevas funcionalidades a los equipos que componen una red SDN, es decir con una simple descarga se actualizan, mientras que en las redes tradicionales los equipos no soportan nuevas tecnologías, esto implica la adquisición de nuevos dispositivos y a su vez gastos para la empresa que los requiera.

Entre las características más sobresalientes sobre estas redes SDN está en la reducción de la latencia como lo demuestran en una investigación al comparar con las redes tradicional, siendo el resultado de esta una latencia de 0,088 ms y la de una red SDN 0.085 ms (2016).

Otro enfoque de las redes SDN está la escalabilidad, mediante una prueba para medir el rendimiento de una tecnología o también conocida benchmarking, en donde se analizan aspectos como: la tasa de transferencia, latencia, carga de CPU, memoria, etc. Esto permite evaluar la capacidad de poder escalar grandes redes SDN con varios hosts, por la que se emplean pruebas que simulen ciertas cargas de trabajo y observar el comportamiento de cada aspecto estudiado, como lo demuestran en un estudio realizado en Cuba por Yanco Marín (2016).

La capacidad de administrar y monitorear las redes ayuda a mejorar el rendimiento y minimizar el impacto de cuello de botella, resultando claves el uso de herramientas para supervisar la red SDN de manera que permita la depuración y resolver problemas, asegurando la continuidad de los servicios.

CONCLUSIONES

- Esta investigación presenta los principales aspectos comparativos de una red ISP básica con una red SDN, considerando los protocolos y herramientas de configuración de los equipos utilizados. Siendo una buena alternativa el controlador OpenFlow, consiguiendo una conexión estable con los dispositivos de red. Esto ayudará a los administradores de redes en centralizar en un solo equipo cualquier configuración de sus servicios que preste la infraestructura de red.
- De los resultados obtenidos se puede deducir que la virtualización de los equipos representa la mayor ventaja de las redes SND con una capacidad máxima de velocidad de transmisión, sin dejar de lado la parte de la seguridad y también minimizando la inversión en equipos y actualizaciones.
- Actualmente el tema de las redes SDN no está tan difundido aun en el Ecuador, sin embargo, existe algunos estudios sobre la aplicabilidad de este nuevo paradigma de las redes programables. Por lo cual es importante que las personas entendidas en este tema de redes se involucren en la programación de distintos lenguajes para desarrollar aplicaciones que ayuden a gestionar los servicios las redes, de esta manera se pueda reducir la intervención humana y brinde automáticamente el estado de su red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Cruz, A. J. (2015). Redes definidas por software (SDN), un nuevo mundo para la seguridad de red. *Universidad Piloto de Colombia*.
- Aranda, V. T. (2004). Historia y evolución de los lenguajes de programación. *Dialnet*, 11.
- Arias Alvarez, D. (s.f.). *openaccess.uoc.edu*. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106106/8/dariasalTFM0120presentaci%C3%B3n.pdf>
- Bernal, I., & Mejía, D. (2016). Las Redes Definidas por Software y los Desarrollos Sobre Esta Temática en la Escuela Politécnica Nacional. *Politécnica*, 43.
- Chafloque Mejia, J. D. (2018). *cybertesis.unmsm.edu.pe*. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10017>
- Colaboradores del Proyecto Mininet. (s.f.). *mininet.org*. Recuperado el 07 de 07 de 2021, de <http://mininet.org/overview/>
- Díaz Torres, J. D. (2020). <https://repository.usta.edu.co/>. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30066/2020juliandiaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Francisco Gortázar Bellas, R. M. (2016). *Lenguajes de programación y procesadores*. Madrid: Centro de Estudios Ramon Areces SA.
- Gonzales, C., Flauzac, O., & Nolot, F. (2018). Evolución y Contribución para el Internet de las Cosas por las emergentes Redes Definidas por Software. *Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil (AmITIC)*, 28-33.
- Gonzalez, C., Flauzac, O., & Nolot, F. (2018). Evolución y Contribución para el Internet de las Cosas por las emergentes Redes Definidas por Software. *Memorias De Congresos UTP*, 28-33.
- Gonzalez, C., Flauzac, O., & Nolot, F. (2018). Evolución y Contribución para el Internet de las Cosaspor las emergentes Redes Definidas por Software. *Memorias De Congresos UTP*, 1(1), 28-33.
- José A. Cerrada Somolinos, M. E. (2010). *Fundamentos de programación*. Madrid: Editorial Universitaria Ramon Areces.

- Mangifesta, L. (03 de 12 de 2019). *canal AR*. Obtenido de <https://www.canal-ar.com.ar/28339-La-importancia-de-ensenar-programacion-en-la-escuela.html>
- Marín Muro, Y. A. (2016). *dspace.uclv.edu.cu*. Recuperado el 07/2016 de 07 de 2021, de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7255/Yanko%20Antonio%20Mar%c3%adn%20Muro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marín Muro, Y. A. (2016). *dspace.uclv.edu.cu*. Obtenido de [dspace.uclv.edu.cu](https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7255/Yanko%20Antonio%20Mar%c3%adn%20Muro.pdf?sequence=1&isAllowed=y): <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7255/Yanko%20Antonio%20Mar%c3%adn%20Muro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Open Networking Foundation. (2014). *opennetworking.org*. Obtenido de <https://opennetworking.org/sdn-definition/>
- Oviedo Bayas, B. W., & Zambrano Vega, C. (2021). Redes bayesianas aplicadas a la predicción de errores en las redes definidas por software. *13(2)*.
- Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI). (2017). *WICC 2017*. Buenos Aires: Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA). Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/61343>
- Romero Castro, V. F., Romero Castro, R. M., Toala Pilay, M. A., Parrales Anzúles, G. R., Delgado Lucas, H. B., Castillo Merino, M. A., & Choez Chele, M. A. (2018). *Metodologías y tecnologías de la información en la educación*. 3Ciencias.
- Torres Quijije, Á. I., & Zuñiga Paredes, A. R. (2020). Análisis de herramientas que permitan el modelado de tráfico en redes SDN. *Centro Sur. Social Science Journal*, *4(2)*, 1-15.
- Valdivieso Pinzón, C. A., Cajas Guijarro, C. D., Mejía Navarrete, R. D., & Bernal Carrillo, I. M. (2017). SIMULACIÓN EN NS3 DEL PROBLEMA DENOMINADO CUELLO DE BOTELLA. *RITI Journal*, *5(9)*, 70-79.
- Valencia, B., Santacruz, S., Becerra, L. Y., & Padilla, J. J. (2015). Mininet: una herramienta versátil para emulación. *Entre Ciencia e Ingeniería*, *9(17)*, 62-70.
- Velásquez Vargas, W. (2013). Emulación de una red definida por software utilizando MiniNet. *Esc. Técnica Super. Ing. en Telecomunicaciones (ETSIT-UMP)*, 8.
- Velásquez Vargas, W. (2013). Emulación de una red definida por software utilizando MiniNet. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Telecomunicaciones (ETSIT - UPM)*.