UNIVERSIDAD & SOCIEDAD
Fecha de presentación: mayo , 2024
Fecha de aceptación: diciembre, 2024
Fecha de publicación: febrero, 2025

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO

DE REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE FRENTE A REDES VIRTUALIZADAS. ESTUDIO DE CASO

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF SOFTWARE-DEFINED NETWORKS VERSUS VIRTUALIZED NETWORKS. CASE STUDY

Eduardo Amable Samaniego Mena[1*]
E-mail: esamaniego@uteq.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6196-2014
Emilio Rodrigo Zhuma Mera[1]
E-mail: ezhuma@uteq.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3086-1413
Stiven Yiovanny Moreira Villafuerte[1]
E-mail: stiven.moreira2018@uteq.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-4217-084X
Jean Carlos Almeida Murillo[1]
E-mail: jean.almeida2015@uteq.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0840-5689
Byron Oviedo Bayas[1]
E-mail: boviedo@uteq.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5366-5917
[1] Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.
*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Samaniego Mena, E. A., Zhuma Mera, E. R., Moreira Villafuerte, S. Y. Almeida Murillo, J. C. & Oviedo Bayas, B. (2025). Análisis del desempeño de redes definidas por software frente a redes virtualizadas. Estudio de caso. *Universidad y Sociedad 17*(1), e4899.

RESUMEN

Este estudio se centra en el análisis del rendimiento de las redes definidas por software versus las redes virtualizadas, área en el contexto donde se denota que en base a las altas solicitudes por parte de los usuarios se tiende analizar estas arquitecturas. Las redes definidas por software (SDN) en función de cómo avanza la tecnología, están evolucionando en factores como la latencia y el jitter en la gestión del tráfico de la red. La virtualización de funciones de red (NFV) tiene un enfoque muy prometedor para la optimización de recursos, pero no para la gestión del tráfico de red. La investigación se basa en la recopilación de datos a través de escenarios prácticos en un entorno virtual y el análisis de la literatura existente. La importancia de entender ambas arquitecturas, entender cuál se adapta en términos de latencia y jitter, esto lleva a una mejor toma de decisiones para poder actuar ante las altas demandas de los usuarios.

Palabras clave: Redes definidas por software, Virtualización de funciones de red, Jitter.

ABSTRACT

This study focuses on the analysis of the performance of software-defined networks versus virtualized networks, an area in the context where we denote that based on the high requests by users these architectures tend to be analyzed. Software-defined networks (SDN) based on how technology advances, are evolving in factors such as latency and jitter in the management of network traffic. Network functions virtualization (NFV) has a very promising approach for resource optimization but not for network traffic management. The research is based on the collection of data through practical scenarios in a virtual environment and the analysis of existing literature. The importance of understanding both architectures, understanding which one adapts in terms of latency and jitter, leads us to better decision making to be able to act in the face of high user demands.

Keywords: Software-defined networking, Network functions virtualization, Jitter.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se han producido cambios significativos en la infraestructura de las redes de telecomunicaciones, lo que ha impulsado su transformación. Se han integrado nuevos enfoques tecnológicos como NFV (virtualización de funciones de red) y las redes definidas por software (SDN), ambos permiten diseñar redes de nueva generación capaces de satisfacer las demandas computacionales de los servicios de telecomunicaciones(García et al., 2021; Mejía et al.,2021).

La integración de las economías tradicionales y digitales ha dado lugar a nuevos modelos de negocio que dependen en gran medida de los servicios y datos digitales. En este contexto, el grupo de especificaciones de la industria NFV (ISG) de ETSI ofrece una solución flexible y optimizada, representando un avance hacia la automatización de las redes de TIC sin necesidad de intervención manual. Este marco arquitectónico proporcionado por el ISG facilita la rápida innovación e implementación de nuevos servicios en cualquier parte de la red, maximizando el uso de los recursos disponibles por parte de los proveedores de servicios. Además, la adopción de tecnologías NFV en la transformación de la red es crucial para preparar la infraestructura ante las futuras implementaciones de 5G (Badulescu & Triay, 2019; Wladimir et al., 2021).

Las redes SDN (Redes Definidas por Software) son un conjunto de tecnologías orientadas a la gestión y control de redes, cuyo propósito es facilitar la implementación de servicios de red de manera determinista, dinámica y escalable. Esto elimina la necesidad de que los administradores gestionen los servicios de red a un nivel bajo de forma manual. En lugar de depender de dispositivos físicos para la inteligencia de red, esta lógica de control se centraliza en un software específico conocido como el "controlador" de red. Esta centralización permite una administración más eficiente y flexible de la red. Además, en el contexto de las SDN, surge el concepto de "programabilidad de red", ya que todas las funciones y operaciones de la red se describen como programas de software, integrando algoritmos, estructuras de datos y principios de programación típicos del desarrollo de software (Cáceres & Casilimas, 2023).

El control de acceso y las políticas de seguridad se gestionan mediante tecnologías como NFV (Network Functions Virtualization) y SDN (Software-Defined Networking), que permiten la implementación de políticas de seguridad dinámicas y adaptativas. Estas tecnologías facilitan la creación de una infraestructura de red virtualizada y redes definidas por software, lo que otorga mayor flexibilidad y escalabilidad. A través de esta arquitectura, el AMF (Access and Mobility Management Function) y el SMF (Session Management Function) juegan un papel crucial en la administración de sesiones de usuario y el acceso a la red, asegurando que se apliquen estrictos controles de autenticación, autorización y políticas de seguridad en tiempo real (Tumbaco, 2021).

La telefonía ha pasado de ser fija y analógica a digital a través de la telefonía IP, lo que implica que la voz se comprime y se transmite por la misma red de datos utilizando el protocolo IP. Este cambio ha generado importantes beneficios para las empresas, ya que ha reducido los costos de las llamadas telefónicas, así como los gastos relacionados con la compra e instalación de equipos, dado que solo requieren una red de datos para ofrecer servicios VoIP. Sin embargo, al integrar varios servicios en la misma red, se necesita un mayor ancho de banda, por lo que en la actualidad este tipo de tecnologías se implementan en redes definidas por software (SDN)(Sanz-Rodrigo et al., 2021).

La integración de NFV y SDN permite la creación de infraestructuras de red virtualizadas que ofrecen múltiples beneficios, como un uso más eficiente de los recursos, un monitoreo continuo de su estado y una alta disponibilidad en la implementación de servicios. Esta combinación optimiza la gestión de la red y mejora su rendimiento general. Además, en este tipo de infraestructuras, los componentes elásticos hacen referencia a la capacidad de ajustar dinámicamente los recursos según la demanda. Esto incluye la posibilidad de escalar recursos como la CPU (Unidad Central de Procesamiento), la RAM (Memoria de Acceso Aleatorio), el almacenamiento interno, las interfaces de red, el ancho de banda o las instancias de servicio, todo ello de manera flexible y según las necesidades cambiantes del entorno o de las aplicaciones en tiempo real (Caviedes, 2021).

La tecnología NFV (Virtualización de Funciones de Red) facilita la implementación de servicios y funciones de red basados en software, los cuales pueden ser ejecutados sobre hardware genérico, no necesariamente diseñado para tareas específicas. En este marco, se utilizan funciones de red virtualizadas, conocidas como VNFs (***Virtual Network Functions***), que realizan diversas tareas dentro de la red, como el enrutamiento, la conmutación, la protección mediante firewalls, entre otras. Al combinar múltiples VNFs, es posible crear lo que se denomina un servicio de red virtualizado (NS, ***Network Service***). Este enfoque proporciona una flexibilidad significativa, ya que permite que los servicios de red se adapten y escalen de manera más eficiente. La norma y el desarrollo de esta tecnología están impulsados por la ETSI (***European Telecommunications Standards Institute),*** que ha definido una arquitectura de referencia que incluye los bloques funcionales e interfaces necesarias para la gestión

y orquestación de estos servicios de red virtualizados (Sanz-Rodrigo et al., 2021).

La interconexión de servicios y tecnologías se ha vuelto esencial en la actualidad, considerando el aumento global de usuarios, dispositivos y aplicaciones que utilizan constantemente la red. Esto se debe, en parte, a las tendencias tecnológicas emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT), el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos (***Big Data***), la transmisión de audio y video (***Streaming***) y el 5G, entre otras, que están ganando relevancia.

Sin embargo, estos avances han hecho que las arquitecturas de red tradicionales queden obsoletas. La necesidad de mejorar aspectos como almacenamiento, ancho de banda y flexibilidad ha llevado a la adopción de redes definidas por software (SDN) como el nuevo modelo para el diseño de topologías de red, ya que permiten un enfoque más centralizado en el diseño y la gestión de las redes (Calderón et al., 2021).

En las telecomunicaciones las redes definidas por software (SDN) y las redes virtualizadas (NFV) son dos enfoques que dentro de las telecomunicaciones han revolucionado la manera en que se diseñan, implementan y administran las infraestructuras de la red. Este desarrollo ha ido de la mano conforme evoluciona el internet, las Redes Definidas por Software (SDN, por sus siglas en inglés) surgen como una solución ante las dificultades en la gestión de redes de gran escala. Aunque se puede percibir como un tema complicado, las SDN representan un nuevo enfoque o modelo para la administración de redes, que, mediante la estandarización y automatización de procesos, busca simplificar la gestión y mejorar la escalabilidad de las redes (Tumbaco et al., 2021).

Para abordar este desafío, la industria de redes está centrando su atención en un concepto emergente: las redes definidas por software. La tecnología SDN se está adoptando de manera extensiva en redes comerciales, gubernamentales y especialmente en el ámbito académico. No obstante, enseñar los conceptos relacionados con SDN resulta complicado debido a la naturaleza de este paradigma, las herramientas y habilidades técnicas específicas que requiere, así como la evolución constante del sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Como consecuencia, surge una necesidad creciente de apoyar nuevas iniciativas que impulsen la investigación aplicada y el desarrollo de metodologías de formación práctica (Silva, 2021).

Las SDN se presentan como una tecnología emergente que proporciona flexibilidad en la gestión de redes de datos, permitiendo una programación centralizada a través de un componente clave, el controlador SDN. Lo destacado de este enfoque es su capacidad para separar las funciones de control de las de envío y manejo de paquetes en la red. Las SDN siguen evolucionando en términos de alcance, diversidad y valor, lo que genera la necesidad de reflexionar, comparar y evaluar su arquitectura, lógica y componentes, para facilitar posibles migraciones parciales o totales de las redes de datos en el futuro (Torres, 2008).

En las redes SDN, surge el concepto de programabilidad de la red, ya que todas las operaciones de red deben definirse como programas de software, integrando algoritmos, estructuras de datos y conceptos propios del desarrollo de software. La seguridad, un aspecto crítico en las redes de comunicación y datos, también se ve favorecida por las características de las redes SDN, incluyendo su capacidad de programación. Diversos problemas de seguridad que suelen afectar a las redes tradicionales pueden resolverse de manera eficiente y confiable en las SDN, garantizando la implementación de aplicaciones de software de seguridad en la red (Ruipérez, 2021).

La computación en el borde de acceso múltiple (MEC) y la virtualización de funciones de red (NFV) emergen como soluciones clave, ya que permiten la virtualización y alojamiento de aplicaciones y funciones de red cerca del usuario final, lo que mejora la fiabilidad y reduce la latencia. No obstante, estos enfoques pueden generar sobrecargas de demora, como el tiempo de configuración de recursos o eventos de falla, durante el aprovisionamiento dinámico de recursos, lo que puede afectar negativamente los servicios de ***Ultra-Reliable Low Latency Communication*** (URLLC). Este trabajo se enfoca en el aprovisionamiento de recursos para servicios URLLC en redes basadas en MEC-NFV, tomando en cuenta factores críticos como el tiempo de configuración de la función de red virtualizada (VNF), la incidencia de fallas y la pre-inicialización de recursos (Pei et al., 2021).

Ambas tecnologías, SDN y NFV, tienen como objetivo mejorar la flexibilidad, la escalabilidad y la eficiencia de las redes, pero difieren en sus enfoques técnicos y áreas de aplicación. El análisis del desempeño de estas tecnologías es esencial para comprender sus ventajas, limitaciones y el impacto que pueden tener en las redes existentes en cuanto a adaptabilidad a condiciones, requerimientos específicos y su rendimiento en la gestión de tráfico de red.

Con el avance de la tecnología y las nuevas generaciones, se necesitan que las redes sean fáciles de manejar y que se adapten a las necesidades del usuario. Tanto las redes definidas por software y las redes virtualizadas tienen un gran impacto en las estaciones de datos porque facilitan mediante virtualización una mayor seguridad y monitoreo de las redes.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este proyecto de investigación se llevó a cabo una investigación cuasiexperimental y bibliográfica para recopilar información sobre las redes definidas por software (SDN) y la virtualización de funciones de red (NFV), con el objetivo de entender su funcionamiento y evaluar su desempeño en comparación. Se revisaron artículos científicos y tesis relacionadas para obtener datos y criterios que permitieran evaluar diferentes parámetros en la gestión del tráfico de red. Además, se utilizó el método cuasi-experimental para realizar pruebas de desempeño en escenarios prácticos con arquitecturas SDN y NFV, analizando los resultados obtenidos. La recopilación de información se realizó a través de diversas fuentes, permitiendo una comprensión profunda de los conceptos y temas relevantes para la investigación.

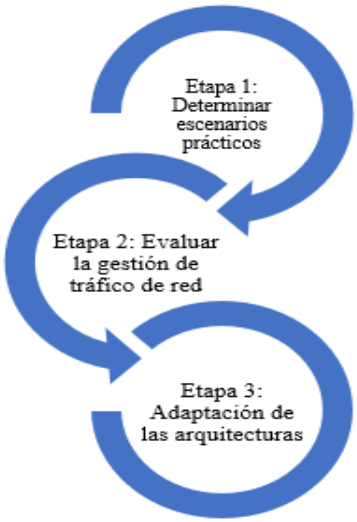
Además, esta investigación se realizó en tres etapas para el cumplimiento de los objetivos como se detalla en la figura 1.

Dentro de cada etapa se utilizó para cumplir con el objetivo principal de la investigación, como se detalla a continuación:

ETAPA 1: Determinar escenarios prácticos

Determinar la implementación de los 3 escenarios de pruebas para las dos arquitecturas de redes SDN y NFV, el primero consiste en una topología LAN pequeña donde se medirán la gestión de tráfico de red en tiempo real, el segundo escenario consiste en una topología LAN mediana donde se utilizara un enrutador para conectar estas dos topologías donde se medirán la gestión de tráfico de red en tiempo real y el tercero escenario consiste en una topología grande donde se analizará los mismos parámetros.

Fig 1. Etapas de investigación.



Fuente: elaboración propia.

ETAPA 2: Evaluar la gestión de tráfico de red

La evaluación del tráfico de red se generará en base a los datos obtenidos en las pruebas realizadas con relación a la gestión de tráfico de red y todas las variables que conllevan al análisis de una red SDN y NFV.

ETAPA 3: Adaptación de las arquitecturas

Se realizó un análisis de los datos obtenidos en las pruebas realizadas para determinar si estas arquitecturas son viables con el entorno y si se acoplan a las peticiones en tiempo real de los usuarios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta primera etapa para la determinación de escenarios prácticos previamente se realiza un análisis exhaustivo de los controladores para implementar SDN, herramientas para implementar NFV.

Para el primer escenario se hace la identificación de protocolos de redes SDN y NFV como se muestra en la tabla 1, considerando una ventaja del protocolo ***OpenFlow*** para ambas tecnologías, con respecto a SDN este protocolo puede comunicar el plano de control y el plano de datos, mientras que en NFV permite controlar el flujo de paquetes; en otras palabras, permite la gestión del tráfico de red y en SDN permite realizar la comunicación eficiente entre todos los terminales.

Tabla 1. Protocolo de redes SDN y NFV.

	OpenFlow	**NETCONF**	**OVSDB**	**OpFlex**	**MPLS-TP**
Creador	Universidades de Stanford, MIT y Berkeley	Internet Engineering Task Force	Internet Engineering Task Force	Cisco System	Internet Engineer Ing Task Force
Función	Permite proporcionar entre los planos que se emplean en SDN y en NFV permite controlar el flujo de paquetes.	Facilita la gestión de configuración de dispositivos de red.	Tiene funcionalidades del conmutador en una topología SDN.	Mantiene el control en la infraestructura de la red.	Es utilizado como una tecnología en la capa de transporte

Fuente: elaboración propia.

Para el segundo escenario) de identificación de controladores de redes SDN como se muestra en la tabla 2, donde, para esta investigación, se elige el controlador OpenDayLight (ODL), una plataforma de código abierto enfocada en la gestión de redes SDN y en constante desarrollo para incorporar nuevas funcionalidades. Respaldo por importantes empresas tecnológicas como CISCO, Microsoft, IBM, JUNIPER NETWORKS, VMWARE y REDHAT, OpenDayLight facilita la integración de equipos de diferentes fabricantes en un mismo entorno. Además, es una solución multiplataforma que, al instalarse en un servidor Linux (Ubuntu), proporciona una interfaz web que permite a los administradores gestionar dispositivos de manera remota y sencilla, simplificando el acceso y la configuración de la red.

Tabla 2: Características de controladores SDN.

	Controladores					
	OpenDayLight	**NOX**	**POX**	**Beacon**	**Floodlight**	**Ryu**
Soporte	Open Flow v1.0/v1.4	Open Flow v1.0	Open Flo w v1.0	Open Flo w v1.0	Open Flow v1.0/ v1.4	Open Flow v1.0/v1.3
Lenguaje	Java	C++	Python	Java	Java	Python
Plataformas	Linux, Mac Os, Windows	Linux	Linux, Mac Os, Windows	Linux, Mac Os, Windows	Linux, Mac Os, Windows	Linux
Código Abierto	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Interfaz gráfica	Web	Python + QT4	Python + QT4	Web	Web	Web
API	Si	No	No	No	Si	Si
Documentación	Media	Media	Baja	Buena	Buena	Media

Fuente: elaboración propia.

Para el tercer escenario se dio la Identificación de herramientas de redes NFV como se muestra en la tabla 3 indica que Open Stack es una de las herramientas óptimas para la implementación de las redes virtualizadas, proporciona una amplia comunidad de usuarios, proporciona capacidades de orquestación para la gestión de recursos y servicios.

Tabla 3: Herramientas de redes NFV.

	Herramientas				
	OpenStack	**VMware vCloud NFV**	**Cisco NFV**	**Red Hat**	**OPNFV**
Código Abierto	**Si**	**No**	**No**	**Si**	**Si**
Plataformas	Linux, macOS y Windows	Linux y Windows	Linux	Linux y Windows	CentOS, Linux

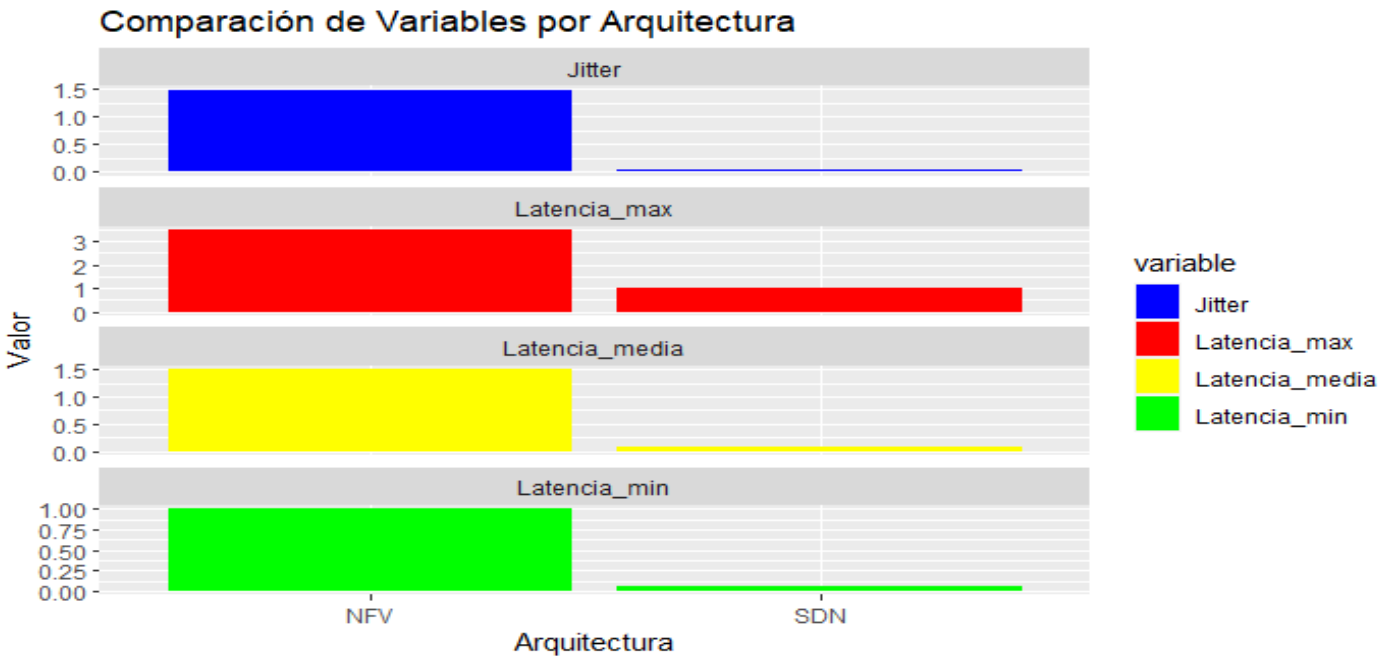
Lenguaje	Python, JavaScript, Ruby y C++	Java	Java	C, C++, Python, Java, Ruby, Go, entre otros	Python, Java, C++, Go
Interfaz Gráfica	Web	Interfaz gráfica de usuario	Interfaz gráfica de usuario	Interfaz gráfica de usuario	No
API	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: elaboración propia.

Para llevar a cabo el análisis de las dos arquitecturas, se utiliza el método ANOVA mediante el software RStudio, tomando como factores las arquitecturas SDN y NFV. Durante las pruebas de escalado, se evaluaron diferentes métricas de desempeño, como la latencia, el jitter y el número de paquetes enviados. Los resultados obtenidos muestran que la arquitectura de red SDN presenta una mayor adaptabilidad, ya que logra mantener bajos los niveles de latencia y jitter en comparación con NFV.

El uso del método ANOVA permite analizar de manera detallada los efectos de estos factores sobre el desempeño de las redes, facilitando la comparación entre ambas arquitecturas en términos de su eficiencia y comportamiento en condiciones de escalado. Además, este enfoque proporciona una visión clara sobre cómo los distintos parámetros de red influyen en la capacidad de adaptación y rendimiento de cada arquitectura bajo diferentes condiciones de tráfico como se muestra en la figura 2.

Fig. 2. Análisis de arquitecturas SDN y NFV con el método ANOVA.



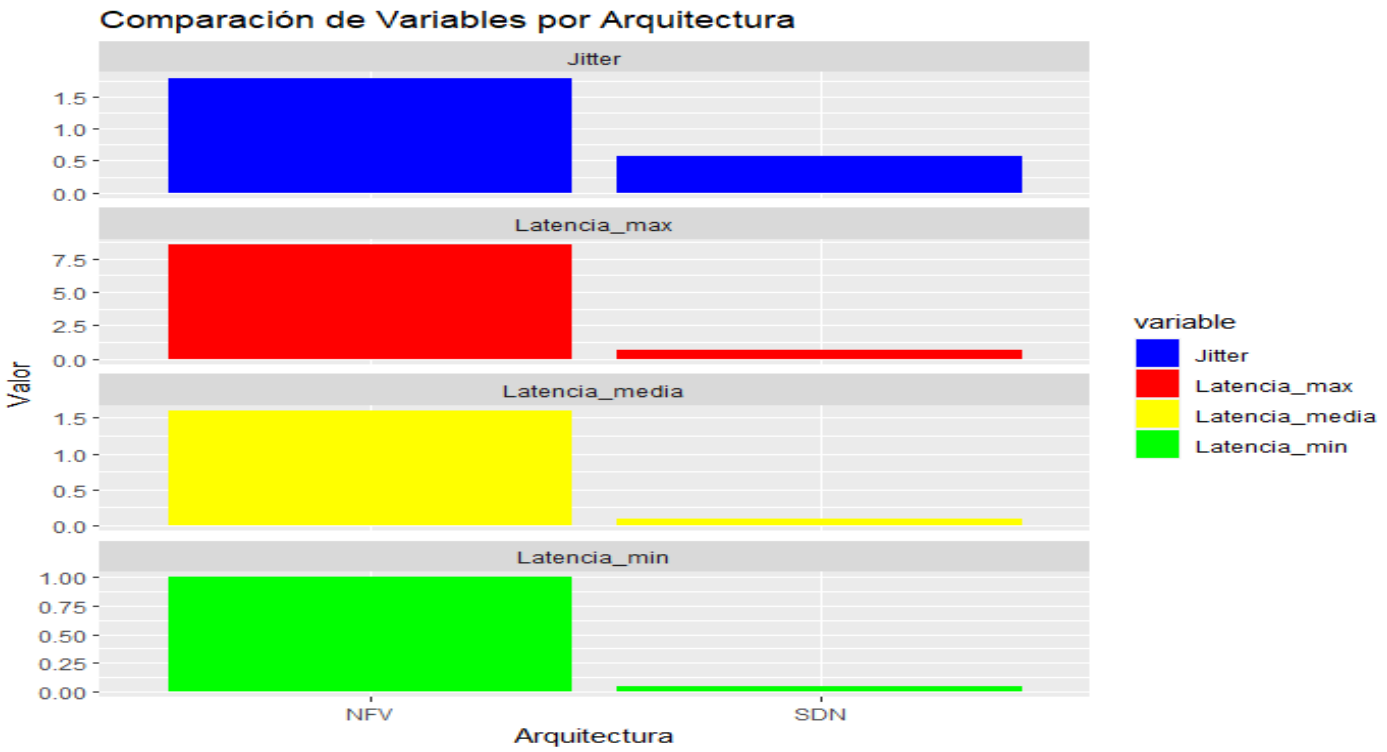
Fuente: elaboración propia.

En base al análisis realizado en el escenario tres para ambas arquitecturas, se emplea el mismo método de análisis estadístico, utilizando el software RStudio. En este caso, se toman como factores las arquitecturas SDN y NFV, y se obtienen los resultados durante las pruebas de escalado realizadas para 1000 y 200 usuarios. Los resultados indican que la arquitectura de red SDN muestra una mayor adaptabilidad, destacándose por su capacidad para mantener la latencia y el jitter en niveles bajos, incluso en condiciones de alto tráfico.

Este comportamiento se observa tanto en escenarios con mayor carga de tráfico como en aquellos con menor cantidad de usuarios. El análisis permite concluir que SDN, al ofrecer un mejor rendimiento bajo diversas condiciones de escalado, es más eficiente en términos de manejo del tráfico y de la calidad de servicio, lo que refleja su capacidad superior para gestionar redes de gran escala.

Además, el uso de ANOVA permite analizar de forma detallada los efectos de cada arquitectura en las métricas de latencia y ***jitter***, proporcionando una comparación más precisa de cómo ambas arquitecturas responden a las exigencias de escalabilidad y desempeño en condiciones dinámicas como indica en la figura 3.

Fig 3. Análisis de SDN y NFV con el método ANOVA.



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

La identificación de escenarios prácticos para ambas arquitecturas permite seleccionar los entornos más adecuados y compatibles con las herramientas de análisis de tráfico de red existentes. Las pruebas realizadas, enfocadas en los indicadores de latencia y ***jitter***, demuestran que SDN ofrece un control granular y dinámico del tráfico, lo que mejora la gestión de la red de manera más eficiente y adaptativa.

Por otro lado, NFV destaca en la optimización de recursos, permitiendo la virtualización de funciones y su ejecución en hardware estándar, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa y una mejor asignación de recursos. Asimismo, se observa que SDN continúa evolucionando, ofreciendo nuevas capacidades de gestión y adaptación, lo que se convierte en una opción prometedora para futuras implementaciones de redes más escalables y flexibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Badulescu, C., & Triay, J. (2019). ETSI NFv, the pillar for cloud ready ICT deployments. ***Journal of ICT Standardization,*** *7*(2), 141–155. https://doi.org/10.13052/jicts2245-800X.725

Cáceres Guevara, J. E, & Casilimas Fajardo, A. C. (2023). Arquitectura y funcionamiento de redes definidas por software (SDN). https://repository.udistrital.edu.co/items/95898da8-9a46-4a2b-8ef6-0fc7077c5561

Calderón Ureña, M. A, Sandoval Gonzalez, A., Umaña Coto, E. & Córdoba Retana, J (2021). Uso de las redes definidas por software en el rendimiento integral de las telecomunicaciones como solución a la escalabilidad y la gestión de los recursos informáticos. https://repositorio.ulacit.ac.cr/bitstream/handle/20.500.14230/10582/REF-1640290637-1.pdf?sequence=1

Caviedes Valencia, J. C. ***Modelo predictivo para la asignación elástica de recursos sobre entornos NFV/SDN basados en OpenStack*** (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79636

García, A. M., & Moreno, S. (2021). Optimización Adaptativa basada en Colonias de Hormigas para la Composición de Cadenas de Funciones Virtuales en una Red 5G Dinámica. In ***JITEL 2021 Libro de Actas: XV Jornadas de Ingeniería Telemática, A Coruña 2021*** (pp. 229-236). Universidade da Coruña. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8866061

Mejía, J. C. G., Legarda, A. L. G., Agudelo, F. A. V., & Rebollar, A. M. (2021). Modelo Para Asignar Recursos Computacionales en Infraestructuras de Redes Virtualizadas Usando Mecanismos de Aprendizaje Automático. ***Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação***, (E45), 72-87. https://www.proquest.com/openview/436c4790cb1ca8a43fc2246edaf45c68/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

Pei, J., Hong, P., Xue, K., & Li, D. (2021). Resource Aware Routing for Service Function Chains in SDN and NFV-Enabled Network. ***IEEE Transactions on Services Computing, 14***(4), 985–997. https://doi.org/10.1109/TSC.2018.2849712

Ruipérez Cuesta, J. (2021). ***Seguridad en Redes definidas por software (SDN)*** (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). https://riunet.upv.es/handle/10251/165154

Sanz-Rodrigo, M., Rivera-Pinto, D., Moreno-Novella, J. I. & Larriva Novo, X. (2021). Diseño de un ecosistema DTN basado en NFV para el análisis de ciberseguridad en redes 5G.

Silva, J. (2021). Tecnología de red definida por software para el aprendizaje en grupos de investigación y educación. ***Revista Innova Educación, 3***(3), 85–96. https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.005

Torres, Y. S. (2008). ***FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO*** (Doctoral dissertation, Universidad Señor de Sipán). https://core.ac.uk/download/pdf/270315663.pdf

Tumbaco Acebo, D. D., Navia, M., & Intriago Romero, W. I. (2021). Revisión de estudios sobre redes definidas por software aplicados en Universidades Ecuatorianas. ***Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de La Informática y Las Comunicaciones, 5***(2), 102. https://doi.org/10.33936/isrtic.v5i2.3951

Wladimir, B., Bayas, O., Rodrigo, E., Mera, Z., Katherine, G., Calero, B., Sleyter, B., Maisanche, P., & Patiño, &. (2021). Implementación de una red definida por software que permita brindar servicio de VoIP Seguros. ***Revista Universidad y Sociedad***, ***13***(2), 389-396