



Recibido: 17/09/2021

Aceptado: 13/10/2021

Revisión de estudios sobre redes definidas por software aplicados en Universidades Ecuatorianas

Danilo Daniel Tumbaco Acebo¹, Marlon Navia², Wilson Ignacio Intriago Romero²

¹Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador

²Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador

¹dtumbaco8954@utm.edu.ec, ²marlon.navia@utm.edu.ec, ²wilson.intriago@utm.edu.ec

RESUMEN Las redes de comunicaciones que en la actualidad representan una herramienta muy importante en el proceso de comunicación a nivel mundial. En los últimos años se considera a las redes definidas por software como uno de los aspectos más representativos, y que con el pasar del tiempo ha despertado el interés de las organizaciones en general. En nuestro medio, específicamente en las instituciones de educación superior, se vienen realizando diversos estudios relacionados a la temática de Redes definidas por Software (SDN), desde evaluaciones de rendimiento entre redes tradicionales y SDN, hasta implementaciones de prototipos de redes, son algunos de los ejemplos más comunes que durante los últimos años han sido objeto de estudio. El presente trabajo de investigación pretende realizar una revisión bibliográfica sobre los diferentes estudios relacionados al paradigma de redes definidas por software que las Universidades ecuatorianas han realizado durante los últimos años. Si bien es cierto existen numerosos estudios sobre las SDN por parte de las Universidades ecuatorianas, la mayoría de estos son realizados en ambientes de simulación con la ayuda de software especializado, por lo que es importante materializar dichos trabajos o llevarlos a escenarios reales con la finalidad de poder tener una perspectiva más exacta de sus ventajas y desventajas frente a las redes tradicionales.

Palabras claves: prototipos; paradigma; simulación; SDN.

Review of studies on software-defined networks applied in Ecuadorian Universities

ABSTRACT Communications networks that currently represent a very important tool in the global communication process. In recent years, software-defined networks are considered one of the most representative aspects, and that with the passage of time has aroused the interest of organizations in general. In our environment, specifically in higher education institutions, various studies related to the subject of Software Defined Networks (SDN) have been carried out, from performance evaluations between traditional networks and SDN, to network prototype implementations, are some of the most common examples that have been studied in recent years. This research work aims to carry out a bibliographic review on the different studies related to the paradigm of software-defined networks that Ecuadorian universities have carried out in recent years. While it is true that there are numerous studies on SDN by Ecuadorian Universities, most of these are carried out in simulation environments with the help of specialized software, so it is important to materialize these works or take them to real scenarios with the purpose to be able to have a more exact perspective of its advantages and disadvantages compared to traditional networks.

KEYWORDS: prototypes; paradigm; simulation; SDN.



1. Introducción

Las redes de datos actuales están integradas por una diversidad de dispositivos tecnológicos sean estos cableados o inalámbricos. Si consideramos además la integración de dispositivos IoT (Internet de las Cosas), se daría lugar a un crecimiento exponencial del tamaño de las redes, dificultando de esta manera su gestión y administración. Las mismas están definidas por varios estándares, entre los cuales destaca el modelo TCP/IP (Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet) basado en el modelo OSI (en inglés, Open Systems Interconnection), con el uso cotidiano de dispositivos físicos como son el switch y router, tal como se muestra en la Fig. 1.

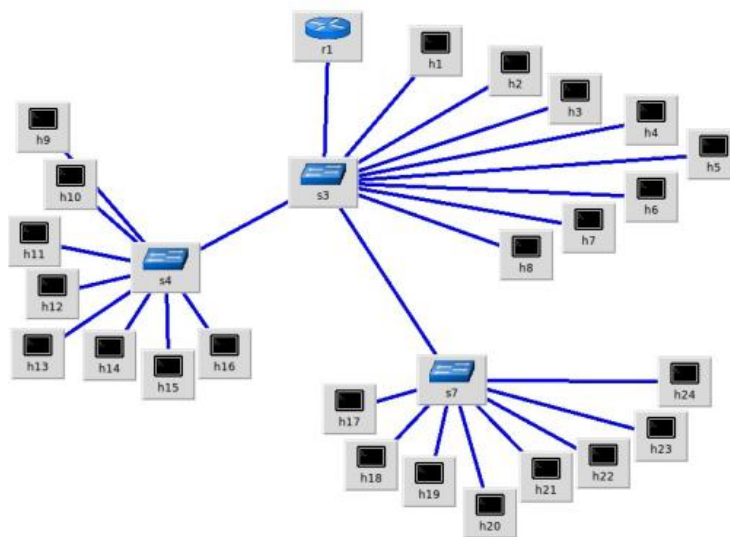


Figura 1: Topología de red TCP/IP.

Podemos mencionar como una limitante en la gestión y administración de redes, la variedad de protocolos y sistemas operativos que poseen los dispositivos actuales los mismos que en su mayoría utilizan comandos específicos para cada fabricante, un escenario el cual requiere personal calificado para la administración de dichas herramientas. Diariamente las redes actuales reciben una carga considerable de datos, si hablamos de la implementación de servicios alimentados por dispositivos móviles, ciudades y hogares inteligentes, quienes generan contenido que requiere de mayor velocidad de transmisión y mejoras de la experiencia del usuario.

Dentro de este escenario, las Redes Definidas por Software (SDN por sus siglas en inglés), se manifiestan como una necesidad ante la dificultad de la administración de redes de considerable tamaño. Aunque pudiera entenderse como un tema complejo, las SDN pueden ser identificadas como un nuevo paradigma de red o modelo de gestión de networking, la misma que mediante una estandarización y automatización de procesos pretende facilitar la administración y la escalabilidad de las redes.

En el contexto de SDN, una característica principal consiste en el hecho de que proporciona programabilidad a través del desacoplamiento del control y plano de datos. Específicamente, SDN ofrece simple programabilidad de dispositivos de red en lugar de hacer que los dispositivos de red sean más complejos como en el caso de las redes actuales. Mediante la separación de los planos de control y de datos en el diseño arquitectónico de la red, el control se puede realizar sin afectar el flujo de datos. Como tal, la inteligencia de la red se puede obtener mediante dispositivos de conmutación y controladores [1]. En la Fig. 2 se puede observar una gráfica de la topología SDN donde se implementa un controlador que centraliza la administración de la red.

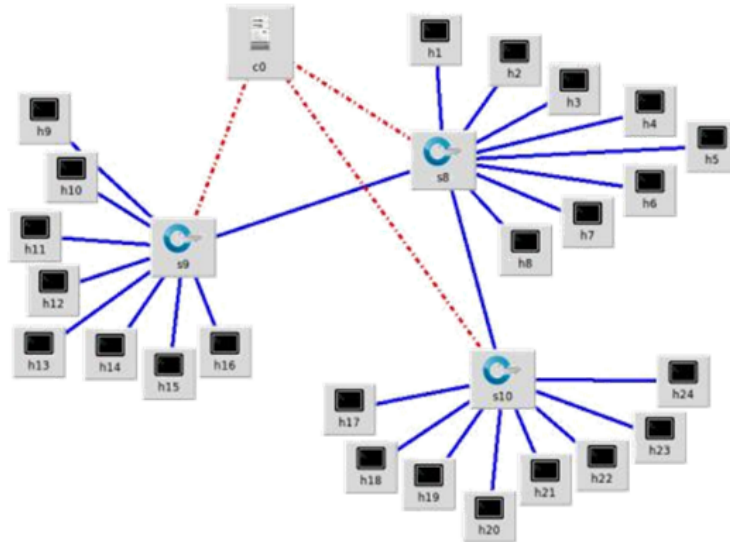


Figura 2: Topología de red SDN.

Un criterio interesante es el que manifiesta [2] en su trabajo de investigación es el siguiente: “En SDN el plano de datos está en cada uno de los Switches de la red (al igual que el paradigma convencional), pero el plano de control solamente está presente en el controlador, es decir que está centralizado, lo que permite establecer políticas de conmutación, enrutamiento y actualización en un único dispositivo, evitando la necesidad de realizarlo por cada equipo de comunicación de la red”.

En nuestro país no existen datos concretos acerca de instituciones u organizaciones que hayan realizado la implementación de esquemas de redes SDN en sus ambientes de producción, sin embargo, es evidente el interés que genera esta temática en virtud de la variedad de estudios que se han realizado durante los últimos años. En el trabajo realizado por [3] se considera que debido la poca difusión de las SDN en nuestro país en lo que se refiere a escenarios reales de implementaciones de redes y la gran proyección que tiene actualmente esta tecnología a nivel mundial, es fundamental que sea la academia la que incursione en esta temática.

Precisamente los centros de estudios superiores del país, es donde se han llevado a cabo una serie de trabajos de investigación sobre la temática de las SDN. Las universidades, al ser centros de formación e investigación, no se han desentendido de esta tecnología, y muchas de ellas han realizado investigaciones para analizar su funcionalidad, llegando incluso a implementar este paradigma en sus redes.

El objetivo del presente trabajo es el de presentar una revisión bibliográfica de los estudios realizados sobre SDN aplicado en las universidades ecuatorianas, a fin de poder obtener una perspectiva más cercana a las temáticas de principal interés por parte de los investigadores.

2. Materiales y Métodos

El presente estudio es de tipo documental, donde se aplicó una revisión bibliográfica a los trabajos referentes a la temática de las SDN que se han venido llevando a cabo por parte de los centros de estudios superiores del país.

Se realizaron búsquedas en Google Académico y en los respectivos repositorios de las Universidades y centros de estudios superiores a fin de poder obtener bibliografía de carácter científico-académico para



el presente estudio. Posteriormente se clasificaron los trabajos de acuerdo a los temas más reiterativos obteniendo la siguiente clasificación:

- Diseño e implementación de prototipos de redes / aplicaciones SDN.
- Estudios de protocolos y enfoques SDN.
- Análisis de desempeño de redes SDN.
- Análisis de vulnerabilidades de redes SDN.

Así mismo, se hizo un breve análisis de los casos encontrados en cada criterio de clasificación considerado.

3. Resultados

Después de una búsqueda exhaustiva se encontró 50 estudios realizados desde el año 2013 hasta la actualidad, periodo en el cual se puede observar un ligero incremento de estudios relacionados a dicho tema. En la Fig. 3 se muestra el número de estudios realizados por año, donde se puede identificar que el número de trabajos sobre el tema en las universidades ha experimentado un ligero incremento con los años. Hay que resaltar que solo se consideraron los estudios hasta el primer semestre del año 2021.

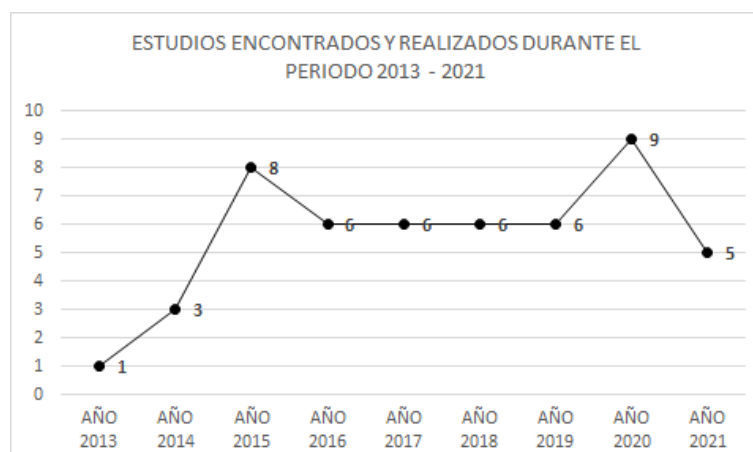


Figura 3: Numero de estudios encontrados sobre SDN durante el periodo 2013-2021 por parte de las Universidades del País.

En referencia a los estudios hallados en la presente investigación sobre la temática de SDN por parte de las Universidades del país, a continuación, se muestra en la Fig. 4 un detalle acerca del número de estudios o implementaciones efectuados durante el periodo 2013 – 2021.

Es importante resaltar las principales temáticas relacionadas a las investigaciones sobre el tema de las SDN, por lo que a continuación se muestra en la Fig. 5 la cantidad de estudios encontrados de acuerdo a la clasificación mencionada en la sección anterior.

Los diferentes estudios objeto de la presente investigación son el resultado de la aplicación de una serie de herramientas, entre las cuales podemos mencionar, el uso del protocolo openflow además de controladores y emuladores que permitieron obtener funcionalidades acordes a los requerimientos de los proyectos. A continuación, podemos indicar de forma general las herramientas más utilizadas en los diferentes proyectos:

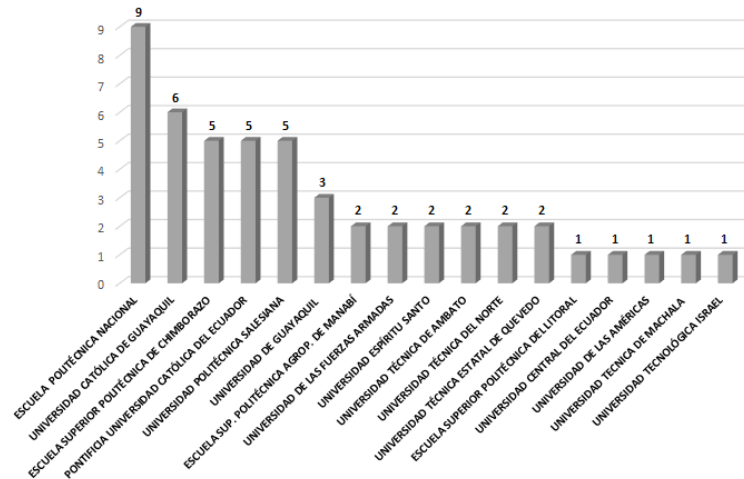


Figura 4: Número de estudios consultados, implementados por las universidades del país durante el periodo 2013 – primer semestre 2021.

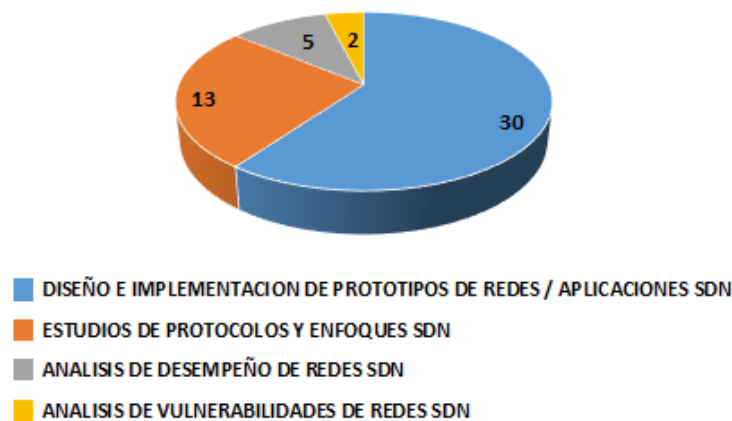


Figura 5: Detalle de clasificación de las investigaciones sobre el tema de las SDN realizadas desde el año 2013 hasta el primer semestre del año 2021.

Controladores:

- Beacon
- FloodLight
- NOX
- POX
- Ryu
- NSX
- OpenDaylight

Emuladores:

- Mininet
- GNS3



3.1. Diseño e implementación de prototipos de redes / aplicaciones SDN

Los trabajos en este criterio se enfocaron en realizar estudios, a nivel de diseño e implementación, de prototipos de redes SDN mediante el uso de software especializado para simulación de redes, se incluyen además trabajos referentes al desarrollo de aplicaciones con funcionalidades para la implementación de SDN.

En el trabajo presentado por [4] manifiesta que mediante la implementación de su prototipo de red donde se emplearon varios controladores, se realizó una modificación de archivos de configuración de tal manera que se logró comprobar un descongestionamiento en los enlaces de datos para la gestión de la red, suponiendo una ventaja significativa para los escenarios de redes altamente congestionadas. En un estudio similar [5], pero empleando una solución basada en software, se menciona el desarrollo de aplicaciones que permitan asignar de forma dinámica características específicas a la red optimizando funcionalidades de las SDN tales como calidad de servicio, movilidad, ingeniería de tráfico, entre otras.

Un aspecto muy relevante en el mundo de las redes es el de la seguridad, hoy en día son comunes los ataques hacia redes corporativas e institucionales, por cuanto las redes definidas por software deben de garantizar este aspecto primordial, pues de no ser así resultaría una gran desventaja tal como lo expresa [6]. Y es que, si bien es cierta la idea de poder tener un control centralizado de la red mediante reglas previamente establecidas, un ligero error en la asignación de las mismas puede provocar un fallo general afectando considerablemente a una determinada organización. En referencia a un estudio sobre ataques de redes [7] expresa que el controlador ODL de la SDN fue capaz de soportar un ataque de DoS (Denegación de Servicio) generado por la herramienta Hping3 puesto que no presentó retardos ni impedimentos en el acceso a su interfaz web durante la ejecución del ataque.

De forma similar, al mencionar las redes WAN no se puede omitir aspectos de seguridad, [8] explican en su estudio que el uso de tecnología SD-WAN demostró una seguridad de la red fortalecida, mediante la encriptación del tráfico de punto a punto, segmentación del tráfico por servicios, entre otros factores de importancia, aumentando de esta manera las capas de control de la seguridad de la información. Por otra parte las tecnologías SD-WAN, según explica [9] son aplicables a cualquier tipo de negocios que requieran acceso a internet, considerando que diferentes servicios como email, base de datos, videoconferencia utilizan la nube como alojamiento, tales aplicaciones demandan de una administración dinámica por parte del software SDWAN con la finalidad de obtener alta disponibilidad y una óptima administración del ancho de banda por parte de los ISP para satisfacción de los usuarios. Según [10] el rendimiento de una red SD-WAN es superior a una red WAN tradicional puesto que en su estudio evidencio una mejor disponibilidad y balanceo del ancho de banda evitando pérdida de calidad y de información. [11] complementa que las redes SD-WAN se caracterizan por su flexibilidad y adaptabilidad a los requerimientos de los administradores de la misma, brindando la facilidad de modificar, actualizar y agregar más aplicaciones en la red, dado que estas son la base de muchas empresas.

En el estudio de [12] se concluye que, una vez detalladas las métricas de forma analítica y posteriormente comparadas con los resultados mediante un emulador de tráfico y un Data center real, se obtuvieron valores muy similares, confirmando así la validez del escenario donde se diseñó y simuló una red de data center basado en topología FAT-TREE en ambiente SDN. En el estudio de [13] referente a la administración centralizada por software, la señala como el primer paso a una red SDN, tecnología que permite obtener estadísticas de desempeño de los diferentes segmentos de red, facilitando las tareas del administrador. En escenarios donde las redes sufren fallos, al contar con un esquema SDN el administrador puede actuar de manera rápida, en virtud de que se puede aplicar redundancia del controlador y de los switches virtuales. Esto permitirá optimizar cualquier tipo de recuperación ante un desastre. [14] resalta además que el crecimiento actual de las compañías requiere grandes transformaciones en las infraestructuras actuales y las redes futuras de las telecomunicaciones.

En el caso particular de un firewall aplicando políticas de control para el flujo de tráfico entre dispositivos, según la experiencia de [15], resulta más factible poder llevarlo a cabo en un firewall basado en SDN que en un firewall tradicional de redes, lo que permite conseguir un nivel de escalabilidad y



flexibilidad acorde a los requerimientos actuales de un entorno de red. Por su parte [16], consideran en su estudio que la arquitectura SDN permitió el mejoramiento de la capacidad de gestión por parte del administrador de red mediante el uso de recursos de estándar abierto, logrando así obtener una red escalable y flexible al momento de utilizar controladores, los mismos que se ajustan a las necesidades de virtualización, funcionalidad, confiabilidad, monitorización, rendimiento y seguridad de la red.

En un proyecto de SDN es importante definir la selección del controlador al inicio, tal como lo indica en su estudio [17], donde resalta la identificación de las características de los diferentes tipos de controladores y las funciones que éstos ofrecen para una adecuada selección. Agrega también que con el uso de la SDN se facilita la migración de módulos previamente establecidos evitando las ataduras a un determinado lenguaje de programación para la generación o establecimiento de reglas. Sin embargo, a pesar de las diferentes ventajas que se han expuesto sobre las SDN, al tratarse de un tema que aún no se consolida en nuestro país, y ante las pocas implementaciones en organizaciones e instituciones, las SDN pueden generar cierto grado de temor a la hora de considerar una migración desde una red tradicional, así lo asevera [18]. Otro factor a considerar es que aún la tecnología SDN se encuentra en una etapa de introducción en Ecuador, [19] esto provoca dificultad al momento de conseguir proveedores directos que faciliten la distribución de los equipos requeridos para la implementación de un proyecto SDN.

Las herramientas de virtualización contribuyen al estudio de las SDN, en razón de que mediante las funciones de red virtualizadas (NFV) se reducen los dispositivos de hardware en gran medida, permitiendo reducir costos en adquisición de equipamiento físico, tal como lo expresa [20]. En estudios donde se ha hecho uso de controladores SDN como el OpenDaylight, tal es el caso de [21], el cual describe que para el desarrollo de nuevos módulos y aplicaciones es necesario contar con los conocimientos de herramientas de software como JAVA, MAVEN, KARAF por parte del administrador a efecto de poder cumplir con los objetivos de un determinado proyecto. De igual manera [22] manifiesta la importancia de contar con un banco de pruebas para redes definidas por software en un esquema virtualizado, lo cual permitirá al estudiante interactuar con redes complejas de última generación.

En una red de considerable tamaño la latencia juega un papel muy importante en el rendimiento de la red, [23] concluye en su estudio que los resultados de las latencias en los diferentes enlaces de red se ven reducidos con la aplicación de SDN, aprovechando la ventaja de las conexiones directas entre los equipos que componen la infraestructura de la red. Hay que resaltar la flexibilidad como uno de los principales beneficios de la implementación de SDN, pues según [24] funciones complejas como el monitoreo del comportamiento de la red o el manejo de la inteligencia de la misma, entre otros, son ejecutados por el controlador SDN. [25] manifiesta además que las redes SDN son escalables gestionables y seguras, destacando que el controlador Floodlight permite una fácil configuración y alto rendimiento.

Con respecto a las redes SDN en ambientes inalámbricos, [26] indica que las redes SDN no son aptas para desarrollar redes inalámbricas, esto debido a que en las pruebas de prototipos el daño en los datagramas es considerable, por cuanto concluye que el uso de esta tecnología es conveniente para redes fijas y Data Center. Por su parte [27] considera que las redes inalámbricas definidas por software optimizan el despliegue de servicios, mejor rendimiento de aplicaciones, entre otras funcionalidades que contribuyen al rendimiento de la red.

El diseño e implementación de una aplicación para balanceo de carga en un escenario SDN [28] permitió obtener resultados exitosos, con el uso del controlador Ryu se pudo observar un total control de la red automatizando la ejecución de decisiones complejas que normalmente son realizadas por equipos y aplicaciones especializadas de alto costo, representando de esta manera una opción para empresas u organizaciones que deseen innovar sus servicios de redes. Según [29] su estudio se basa en un modelo lógico centralizado, donde un programa o aplicación pueda tomar decisiones para reenviar los paquetes a los switches, permitiendo un control de alto nivel del tráfico de red.

Mediante el desarrollo de una aplicación para el control de acceso al medio (NAC) [30] considera que es posible mejorar el servicio, ingeniería de tráfico y movilidad, para de esta forma cubrir de mejor manera los requisitos de los usuarios. Mediante la generación de reglas de flujo y clasificación del tráfico



[31] evidencia la flexibilidad y funcionalidad de las SDN al implementar sobre estas cualquier tipo de aplicación de las redes tradicionales, de igual manera utilizando el controlador Ryu [32] en su estudio pudo obtener una red escalable y flexible.

En el trabajo presentado [33] demuestran que el algoritmo de selección que toma en consideración parámetros de la red y servidores para la técnica de balanceo de carga permite obtener un menor tiempo de respuesta y en consecuencia, incrementa el rendimiento de los servicios web.

En complemento a los estudios revisados se presenta un resumen de los mismos, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1: Resumen de los estudios sobre Diseño e implementación de prototipos de redes / aplicaciones SDN

Referencia	Tema de Investigación
[4](Chico et al., 2014)	Implementación de un Prototipo de una Red Definida por Software (SDN) Empleando una Solución Basada en Hardware.
[5](Morillo Fuentala, 2014)	Implementación de un Prototipo de una Red Definida por Software (SDN) empleando una solución basada en software.
[29](Mejía et al., 2014)	Aplicación para Control de Acceso a la Red para SDN.
[6](Manzano Barrionuevo & Naranjo Villota, 2015)	Diseño e implementación de un prototipo de HONEYNET mediante una red definida por software (SDN).
[28](Olaya Yandun, 2015)	Diseño e Implementación de una Aplicación para balanceo de carga para una red definida por software (SDN).
[12](Ampuño Avilés & Chávez Cristóbal, 2015)	Diseño y Simulación de una Red de DATA-CENTERS basada en Topología Fat-Tree en un Ambiente de Redes Definidas por Software (SDN).
[26](Yáñez Carrera & Gallegos Pillajo, 2015)	Implementación de un prototipo de red definida por software para el Hotspot-Epoch mediante un controlador basado en Openflow
[13](Báez Herrera, 2015)	Construcción de una Red Convergente con Tecnología de Acceso Instantáneo y Administración Centralizada por Software.
[30](Leyton Portilla, 2016)	Diseño de una Red Definida por Software empleando una solución basada en software, para la infraestructura de Cloud de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA)
[15](Bonilla Fernández, 2016)	Diseño e Implementación de un Firewall L2 utilizando Redes Definidas Por Software (SDN)
[31](Moscoso Clerque, 2016)	Desarrollo de una Aplicación para la Implementación de Calidad de Servicio por priorización de tráfico sobre una red definida por software (SDN)
[16](Balseca Manzano & Murillo Calderón, 2016)	Desarrollo de un prototipo de red definida por software SDN para la gestión mediante recursos de estándar abierto.



Referencia	Tema de Investigación
[17](España Tarapuez, 2016)	Diseño y simulación de una red definida por software (SDN)
[18](Chehab Palma, 2017)	Diseño de una red de datos usando redes definidas por software SDN para obtener un manejo más efectivo de recursos en un hospital de la ciudad de Guayaquil.
[20](Cordero Vizhñay, 2017, p. 6)	Diseño y Despliegue de Funciones de Red Virtualizadas (NFV) usando Redes Definidas por Software (SDN) dentro de una infraestructura Virtual, aplicando balanceo de carga y seguridad distribuida en IPv6.
[21](Cajas Guijarro & Valdivieso Pinzón, 2017)	Implementación de un Analizador MP-TCP (MULTIPATH-TCP) empleando una Red Definida Por Software.
[32](Guerrero Mazón, 2017)	Desarrollo de una plataforma para evaluar calidad de servicios (QOS) en redes definidas por software (SDN).
[19](León Caiza & Pino Segura, 2018)	Diseño de una red utilizando SDN (Software Defined Network) para la empresa Calital Cía. Ltda. en la ciudad de Guayaquil.
[27](Cevallos Sánchez, 2018)	Implementación de redes definidas por software (SDN) sobre redes IEEE 802.11 mediante MININET WI-FI.
[14](Guanoluisa Jaramillo, 2019)	Diseño de la arquitectura de una red SDN mediante el protocolo Openflow con simulación en el software Mininet para la infraestructura de una PYMES.
[33](Gilces & Villamar, 2019)	Aplicación de Balanceo de carga dinámico para Servidores, basada en Redes Definidas por Software.
[23](Mariscal Basilio & Salazar Rueda, 2020)	Diseño e implementación de una red overlay, con switches SDN basado en hardware de bajo costo, para el FCI-011 TEMONET-FASE II
[8](Valarezo Constante & Barboza Gilces, 2020)	Desarrollo de un prototipo de red de área amplia basado en una arquitectura definida por software (SD-WAN) en una institución financiera.
[9](Sambrano Velasco, 2020)	Implementación de Redes SDN-WAN y evaluación de resultados sobre aplicaciones de uso recurrente en usuarios a través de distintos proveedores de servicios de internet (ISP's).
[25](Carrillo Rodas, 2020, p. 2)	Simulación de una red definida por software (SDN) para el control de acceso de los elementos de la red a nivel de capa 2.
[11](Carrasco Cabrera, 2020)	Diseño y Simulación de una Red de Accesos en GNS3 utilizando la tecnología SD-WAN para medianas empresas en el Ecuador.
[10](Ayapata Mendoza, 2020)	Modelado de una WAN utilizando redes definidas por software de alta disponibilidad en el segmento corporativo.



Referencia	Tema de Investigación
[24](Alava Rivas & Paladines Montiel, 2020)	Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico de Red definida por Software (SDN) para prácticas Universitarias con Protocolo Openflow mediante Hardware Libre.
[7](Nicolalde Quilca, 2021)	Diseño de un Sistema de Detección de Intrusos (IDS), basado en Redes Neuronales para una red definida por software (SDN) en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.
[22](Vera Vélez & Llambo Vera, 2021)	Diseño e implementación de un banco de pruebas virtualizado con tecnología de redes definidas por software para redes de Área Amplia (SD-WAN) en el laboratorio de telecomunicaciones para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

3.2. Estudios de protocolos y enfoques SDN

Dentro de los trabajos consultados se pudo obtener estudios diversos relacionados a la temática de las redes definidas por software, los mismos que se describirán a continuación:

Según [34] “La SDN rompe barreras en el modo de trabajo haciendo en un 100 % fiable y flexible el manejo de las redes que por mucho tiempo han sufrido de inconvenientes ya sean estos por inseguridad, por problemas en velocidad en redes inalámbricas” ratificando las ventajas que poseen las redes SDN sobre las redes tradicionales. En su estudio [35] consideran que las SDN “surgen debido a la incapacidad de las redes convencionales de permitir cambios en los patrones de tráfico de forma dinámica, mediante la adición, eliminación o modificación de reglas de flujo en los dispositivos de interworking”. La aplicación de framework para monitorización de redes, un tema ampliamente estudiado en redes tradicionales, fue considerado en el campo de las SDN de acuerdo al estudio realizado por [36], donde demuestra la efectividad de su desarrollo, considerando la estimación aproximada de valores de tasa de transmisión, tasa de paquetes perdidos y retardo presente en un enlace gracias a los algoritmos aplicados.

Como una arquitectura vanguardista que ha cambiado el modelo de administración de redes [37] expone sobre los servicios portadores y la evolución de SDN en Ecuador, además de resaltar las ventajas de aplicar soluciones propietarias donde se garantiza el soporte y la seguridad frente a las soluciones no propietarias y de código abierto donde disminuye el costo pero se comprometen aspectos de seguridad.

Con una perspectiva más inclusiva [3] expone el caso de empresas como Google donde emplean a gran escala las tecnologías de redes definida por software, en contraste a nuestro país donde la difusión de dichas tecnologías ha sido limitada en la parte empresarial y académica.

Las SDN nacen por la necesidad de contar con una mejor administración, distribución, flexibilidad y sobre todo para tener una mejor administración del ancho de banda, así lo expresa (Ochoa Brito, 2018), donde además concluye que las SDN permiten disponer de un amplio abanico de posibilidades para mejoras y crecimientos dentro de la red en sus diferentes aspectos.

En el estudio realizado por [38] concluye que “las SDN y Openflow representa una revolución en el mundo de las redes de comunicaciones, como vemos en esta investigaciones las empresas que han implementado Google, Cisco, Huawei, Hp, empiezan a confiar cada día más en estas nuevas tecnologías porque son el futuro de las redes al permitir aprovechar mejor los recursos de las tecnologías actuales”, ratificando así la importancia de aplicar dichas tecnologías en un futuro cercano dentro entorno local .

En lo que se refiere a infraestructuras hiperconvergentes [39] recomienda “realizar una planificación exhaustiva para el proceso de migración de los datos a la nueva estructura, considerando que se trata



de una solución totalmente nueva e innovadora”, teniendo presente que dichos trabajos de renovación por lo general no son reversibles. En el estudio realizado por [40] manifiesta que “la solución de redes definidas por software permite abordar los desafíos actuales con infraestructura de redes físicas y aporta flexibilidad, agilidad y escalabilidad por medio de redes lógicas basadas en la Virtual eXtensible LAN VXLAN.”

Mediante la integración de un sistema de detección y prevención de intrusos (IDS/IPS) [41] concluye en su estudio haber diseñado e implementado un escenario de bajo costo para integrar un IDS/IPS a un controlador SDN para la prevención y detección de ataques de seguridad (DoS).

Según [42] propone un proyecto acerca del diseño e implementación de un testbed SDN-IoT, a fin de mostrar la influencia que tienen las redes definidas por software sobre las aplicaciones del IoT aplicado a la industria 4.0.

En el estudio propuesto por [43] concluye que “SDN añade mayor flexibilidad a la red, y se adapta a las necesidades de cada empresa o usuario” además que su diseño propuesto para SDN optimiza el proceso de envío de flujos, mediante el API southbound como OpenFlow, centralizando el control, recopilando información, mejorando y adaptando la red en forma dinámica lo que permite establecer una diferencia respecto a las redes tradicionales. De acuerdo al estudio de [44] supo manifestar que el mismo “se basa en el aprendizaje de una red Bayesiana a partir de los datos extraídos y procesados de una SDN, buscando relaciones causales entre valores de los datos y estado de la red.”

A continuación, se presenta un resumen de los estudios revisados sobre la temática de Estudios de protocolos y enfoques SDN, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Resumen de los estudios de protocolos y enfoques SDN

Referencia	Tema de Investigación
[34](Guamán Guachichulla, 2013)	Documentación de infraestructuras para redes definidas por software para el Hospital del Río.
[35](Manzano Villafuerte, & Alex Vladimiro, 2015)	“Red Definida por Software (SDN) en base a una infraestructura de software de libre distribución”
[36](Barona et al., 2015)	Framework de Monitorización para Redes Definidas por Software.
[37](Cuenca Pérez & Flores Marín, 2015)	Redes definidas por software: Solución para servicios portadores del Ecuador.
[3](Bernal & Mejía, 2016)	Las Redes Definidas por Software y los Desarrollos Sobre Esta Temática en la Escuela Politécnica Nacional.
[39](Altamirano et al., 2017)	Análisis y estudio de las infraestructuras hiperconvergentes para centros de datos definidos por Software.
[38](Intriago Romero, 2017)	Estudio del protocolo Openflow usando el modelo de red definida por Software (Software Define Networks). Caso de estudio la Universidad Técnica de Manabí.
[41](Morales Dávila, 2018)	Integración de un IDS/IPS al controlador SDN para la prevención y detección de ataques de seguridad (DoS) en un escenario de redes definidas por software.
[45](Ochoa Brito, 2018)	Características de las Redes Definidas por Software (SDN) para su Implementación en el Ecuador.



Referencia	Tema de Investigación
[40](Moreira Zambrano et al., s. f.)	Infraestructura Hiperconvergente definida por software seguridad y evolución del centro de datos.
[42](Chiliquinga Rodríguez & Manzano Villafuerte, 2020)	Internet de las cosas basado en Redes Definidas por Software.
[43](Aguirre Andrade & Crespo Vivar, 2021)	Convergencia de redes definidas por software con OpenDaylight y NSX sobre una nube privada.
[44](Oviedo Bayas & Zambrano Vega, 2021)	Redes Bayesianas aplicadas a la predicción de errores en las redes definidas por software.

3.3. Análisis de desempeño de redes SDN

Una particularidad de las redes SDN es el desempeño o rendimiento que estas puedan presentar, considerando diferentes escenarios, a continuación, se presenta una sección con estudios que se refieren a esta temática.

En el trabajo realizado por [46] se propone un proyecto el cual realiza un análisis de desempeño computacional de una aplicación distribuida intensiva en datos entre dos escenarios de red emulados, uno emula una red de dispositivos y otro una red definida por software, SDN. El número de nodos, y el tamaño de datos a procesar varían según el escenario de experimentación, esto con el fin de mostrar de una manera clara el comportamiento de la red para ambos escenarios”, de acuerdo a los resultados obtenidos manifiesta de acuerdo al tipo de configuración que se establece por cada topología puede afectar al rendimiento de la red y por ende obtener resultados no significativos de ganancia. Según el trabajo realizado por [47] concluye que “En cuestión de consumo de ancho de banda en SDN fue menor lo que permite ver que SDN optimiza de mejor manera la red para que tenga un menor consumo. En cuestión de paquetes por segundo en SDN cuando se transmitió una mayor cantidad de datos se mantuvo por encima del umbral de transmisión lo cual se comprobó en el vídeo, que no tuvo retardos o pérdidas de calidad a diferencia de TCP/IP donde si hubo a medida que avanzaba la transmisión.”

Con la finalidad de determinar la aplicabilidad de un entorno SDN, comparado con la misma topología conmutada de forma tradicional, el estudio de [48], obtuvo la siguiente conclusión “El paradigma de SDN plantea un mejoramiento en el esquema de red analizado desde su diseño, al reducir la cantidad de equipos de red necesarios para el funcionamiento de la red utilizada en este estudio, los resultados del rendimiento de ambos paradigmas muestran como la red definida por software presenta ligeramente mejor rendimiento que la red tradicional, para el caso del entorno y topologías analizados, así mismo en el caso de SDN se presentaron pérdidas de paquetes en dos pruebas por el desconocimiento de la ruta de destino en primera instancia”.

Según el estudio de [49] pudo indicar que “Esta solución ha sido ampliamente probada en una variedad de escenarios que muestran que las redes de sensores inalámbricos definidos por software (SD-WSN) tiene muchas ventajas en comparación con las soluciones existentes, En particular, los resultados experimentales muestran que, en términos de condiciones estáticas y cuasi-estáticos, se considera una solución independiente del tamaño de la red, el tamaño de la carga útil, el tráfico generado y la métrica de rendimiento”. Por su parte [50] manifiesta “El resultado de este análisis permitió evidenciar la buena respuesta del protocolo de comunicación OpenFlow, considerando que pruebas de conexión se han realizado entre los dispositivos de red y el controlador empleando como parámetro los envíos de paquetes ICMP entre los hosts. Esto ha llevado a considerar que los protocolos pueden optimizar la comunicación entre los planos de datos y control”.



3.4. Análisis de vulnerabilidades de redes SDN

Finalmente, en lo relacionado a las temáticas expuestas, se presentan los análisis de vulnerabilidades, según se mencionan a continuación:

De acuerdo al estudio realizado por [51] menciona que "El estudio realizado de las vulnerabilidades en Redes definidas por Software muestra varios perjuicios tanto a nivel del protocolo de comunicación OPENFLOW, debido a que carece de seguridad, como en el controlador, en el despliegue de flujos o reglas". En un estudio específico a un controlador SDN [52] se comprobó que "el controlador y servidores son vulnerables por protocolo HTTP (puerto 8181 y 80 respectivamente)" además que "SDN no llega a convertirse en una solución 100 % segura debido a que es una red pensada para manejar grandes volúmenes de información y que mantendrá comunicación con algunos activos y servicios que forman parte de la infraestructura los cuales podrían no estar bien configurados y puedan ser una o algunas formas en las que se podría atacar a la controladora."

Los estudios relacionados al análisis de desempeño y vulnerabilidades de redes SDN los podemos observar en la Tabla 3.

Tabla 3: Resumen de los estudios de Análisis de desempeño y Análisis de vulnerabilidades de redes SDN

Referencia	Tema de Investigación
[46](Moreno Palacios & Zambrano Zambrano, 2018)	Análisis comparativo del desempeño computacional de una aplicación distribuida intensiva en datos en redes de dispositivos y redes definidas por software.
[47](Guzmán Vélez et al., 2019)	Análisis del desempeño de redes definidas por software (SDN) frente a redes con arquitectura TCP/IP.
[48](Alcívar & Navia, 2020)	Comparativa entre red tradicional y red definida por software: Caso de estudio ESPAM MFL.
[49](García Vásquez, 2020)	Evaluación de una red definida por software para redes de sensores inalámbricos utilizando el protocolo de descubrimiento de topología y manejo de paquetes.
[50](Guacho & Pacheco, 2021)	Análisis comparativo de protocolos de comunicación para redes definidas por software.
[51](Toainga Urrutia & Peña Pérez, 2019)	Análisis de vulnerabilidades Insider contra ataques de denegación de servicio (DoS) en Redes Definidas por Software.
[52](Terreros Herrera, 2020)	Análisis de vulnerabilidades de una controladora RYU en una red definida por software o SDN

4. Conclusiones

A pesar de que las SDN se muestran como un nuevo paradigma en la administración de redes y es ampliamente utilizado en corporaciones internacionales, frente a los escenarios de redes tradicionales, en nuestro medio aún no se cuenta con casos concretos de implementaciones reales que permitan consolidar dicha tecnología en ambientes de producción, para de esta forma poder brindar confianza y seguridad a las organizaciones que estén considerando una migración total o parcial a este nuevo esquema de redes.



El tipo de estudios más común en el país por parte de los centros de educación superior se enfoca en el Diseño e implementación de prototipos de redes y aplicaciones SDN, donde en su mayoría dichos estudios se realizan por medios de prototipos de redes en ambientes virtualizados haciendo uso de las diferentes herramientas protocolos y controladores que brindan las SDN, las Universidades deben de considerar la posibilidad de implementar laboratorios a fin de realizar prototipos de redes SDN físicas que permitan obtener visión real de dicha temática.

Se pudo observar una variedad de tipos de estudios y de enfoques de SDN, los cuales permiten tener una perspectiva generalizada del nuevo paradigma permitiendo así contribuir a futuros trabajos de investigación por parte de la comunidad académica.

En lo que respecta a trabajos de análisis de desempeño y análisis de vulnerabilidades de redes SDN, durante el periodo considerado se cuenta con estudios en menor proporción, y al considerarse el tema de vulnerabilidades de redes como un enfoque esencial, se debe de trabajar más en dichos enfoques, a fin de poder garantizar aspectos de seguridad y rendimiento en las redes SDN, de preferencia en escenarios reales o físicos que permitan contar con datos ajustados a la realidad.

Como trabajo futuro, se podría ampliar este estudio para determinar cuántas de las propuestas encontradas se han implementado, y cuantas siguen funcionando.

Referencias

- [1] Bruno Astuto A Nunes, Marc Mendonca, Xuan-Nam Nguyen, Katia Obraczka y Thierry Turletti. «A survey of software-defined networking: Past, present, and future of programmable networks». En: *IEEE Communications surveys & tutorials* 16.3 (2014), págs. 1617-1634.
- [2] Miller Ramirez Giraldo y AM Echeverry. «Redes de datos definidas por software-SDN, arquitectura, componentes y funcionamiento». En: *Journal de Ciencia e Ingenieria* 10.1 (2018), págs. 55-61.
- [3] Iván Bernal y David Mejiéa. «Las redes definidas por software y los desarrollos sobre esta temática en la Escuela Politécnica Nacional». En: *Revista Politécnica* 37.1 (2016), págs. 43-43.
- [4] Juan Carlos Chico, David Mejiéa e Iván Bernal. «Implementación de un prototipo de una Red Definida por Software (SDN) empleando una solución basada en hardware». En: *Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador* (2013).
- [5] Diana Gabriela Morillo Fuentala. «Implementación de un prototipo de una red definida por software (SDN) empleando una solución basada en software». B.S. thesis. Escuela Politécnica Nacional - Quito, 2014.
- [6] Andrés Michael Manzano Barrionuevo y José Luis Naranjo Villota. «Diseño e implementación de un prototipo de honeynet mediante una red definida por software (SDN)». B.S. thesis. Escuela Politécnica Nacional - Quito, 2015.
- [7] Willams Andrés Nicolalde Quilca. «Diseño de un sistema de detección de intrusos (IDS), basado en redes neuronales para una red definida por software (SDN) en la facultad de ingeniería en ciencias aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte». B.S. thesis. Universidad Técnica del Norte, 2021.
- [8] Joffre Rogelio Valarezo Constante, Fabián Barboza Gilces & et al. «Desarrollo de un prototipo de red de área amplia basado en una arquitectura definida por software (SD-WAN) en una institución financiera». Tesis de mtría. ESPOL. FIEC, 2020.
- [9] Johanna Olivia Sambrano Velasco. «Implementación de Redes SDN-WAN y evaluación de resultados sobre aplicaciones de uso recurrente en usuarios a través de distintos proveedores de servicios de internet (ISP's)». En: (2020).
- [10] Ayapata Mendoza y Douglas Oswaldo. «Modelado de una WAN utilizando redes definidas por software de alta disponibilidad en el segmento corporativo.» En: (2020).



- [11] Fulvio Andrés Carrasco Cabrera. «Diseño y simulación de una red de accesos en GNS3 utilizando la tecnología SD-WAN para medianas empresas en el Ecuador.» En: (2020).
- [12] Alan Roberto Ampuño Avilés y Mayra Michell Chávez Cristóbal. «Diseño y simulación de una red de Datacenters basada en topología FAT-TREE en un ambiente de redes definidas por software (SDN).» B.S. thesis. 2015.
- [13] David Israel Báez Herrera. «Construcción de una red convergente con tecnología de acceso instantáneo y administración centralizada por software». Tesis de mtría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Quito, 2015.
- [14] Edison Daniel Guanoluiza Jaramillo. «Diseño de la arquitectura de una red SDN mediante el protocolo Openflow con simulación en el software mininet para la infraestructura de una PYMES». En: (2019).
- [15] Jaime Adrián Bonilla Fernández. «Diseño e implementación de un firewall l2 utilizando redes definidas por software (SDN)». Tesis de mtría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2016.
- [16] Félix Mauricio Murillo Calderón y José Marcelo Balseca Manzano. «Desarrollo de un prototipo de red definida por software SDN para la gestión mediante recursos de estándar abierto». Tesis de mtría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, 2016.
- [17] Nataly Estefamea España Tarapuez. «Diseño y simulación de una red definida por software (SDN).» B.S. thesis. Universidad Central del Ecuador - Quito, 2016.
- [18] Chehab Palma y Jamil Rabih. «Diseño de una red de datos usando redes definidas por software SDN para obtener un manejo más efectivo de recursos en un hospital de la ciudad de Guayaquil.» En: (2017).
- [19] Samantha Christel León Caiza y Andrés Antonio Pino Segura. «Diseño de una red utilizando SDN (software defined network) para la empresa Calital Ciéa. Ltda. en la ciudad de Guayaquil». Tesis doct. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas ..., 2018.
- [20] Christian Fabián Cordero Vizhñay. «Diseño y despliegue de funciones de red virtualizadas (NFV) usando redes definidas por software (SDN) dentro de una infraestructura virtual, aplicando balanceo de carga y seguridad distribuida en IPv6». B.S. thesis. 2017.
- [21] Carlos David Cajas Guijarro y Christian Alexander Valdivieso Pinzón. «Implementación de un Analizador MP-TCP (Multipath-TCP) empleando un Red Definida por Software». B.S. thesis. Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [22] Erick Álvaro Vera Vélez y Oscar Omar Llambo Vera. «Diseño e implementación de un banco de pruebas virtualizado con tecnología de redes definidas por software para redes de área amplia (SD-WAN) en el laboratorio de telecomunicaciones para la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil». B.S. thesis. Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, 2021.
- [23] Diana Roció Mariscal Basilio y Alex Eduardo Salazar Rueda. «Diseño e implementación de una red overlay, con switches SDN basado en hardware de bajo costo, para el FCI-011 temonet-fase II.» Tesis doct. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas ..., 2020.
- [24] Cinthya Gema Alava Rivas y Daniel Iván Paladines Montiel. «Diseño e implementación de un módulo didáctico de red definida por software (SDN) para prácticas universitarias con protocolo Openflow mediante hardware libre». B.S. thesis. 2020.
- [25] Carlos Alberto Carrillo Rodas. «Simulación de una red definida por software (SDN) para el control de acceso de los elementos de la red a nivel de capa 2.» En: (2020).
- [26] Catherine Eleana Yáñez Carrera y Fabián Gustavo Gallegos Pillajo. «Implementación de un Prototipo de Red Definida por Software para el Hotspot-Epoch Mediante un Controlador Basado en Openflow». B.S. thesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.
- [27] Liseth Paulina Cevallos Sánchez. «Implementación de redes definidas por software (SDN) sobre redes IEEE 802.11 mediante MININET WI-FI». B.S. thesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.



- [28] Marlon Esteban Olaya Yandun. «Diseño e implementación de una aplicación para balanceo de carga para una Red Definida por Software (SDN)». B.S. thesis. Escuela Politécnica Nacional - Quito, 2015.
- [29] David Mejía, Iván Bernal y Gabriela Morillo. «Aplicación para Control de Acceso a la Red para SDN». En: *Revista Politécnica* 34.2 (2014), págs. 27-27.
- [30] Johanna Lisseth Leyton Portilla. «Diseño de una red definida por software empleando una solución basada en software, para la infraestructura de cloud de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA)». B.S. thesis. 2016.
- [31] Esteban Mauricio Moscoso Clerque. «Desarrollo de una aplicación para la implementación de calidad de servicio por priorización de tráfico sobre una red definida por software (SDN)». B.S. thesis. Escuela Politécnica Nacional - Quito, 2016.
- [32] Geovanna Daniela Guerrero Mazón. «Desarrollo de una plataforma para evaluar calidad de servicios (QoS) en Redes Definidas por Software (SDN)». B.S. thesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.
- [33] Carlos Enrique Minda Gilces y Rubén Pacheco Villamar. «Aplicación de Balanceo De Carga Dinámico Para Servidores, Basada En Redes Definidas Por Software». En: *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação* 32 (2019), págs. 67-82.
- [34] Pablo Andrés Guamán Guachichulca. «Documentación de infraestructuras para redes definidas por software para el Hospital del Río». B.S. thesis. Universidad Israel-Quito, 2013.
- [35] Víctor Santiago Manzano Villafuerte y Alex Vladimir Núñez Ramires. «Red definida por software (SDN) en base a una infraestructura de software de libre distribución». B.S. thesis. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas ..., 2015.
- [36] Lorena Barona, Jesús Puente, Ángel Valdivieso y Luis García. «Framework de Monitorización para Redes Definidas por Software». En: *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*. Vol. 10. 1. 2015, págs. 239-244. DOI: <https://doi.org/10.24133/ccetespe.v10i1.52>.
- [37] Gabriela Cuenca Pérez y Mónica Flores Marién. «Redes definidas por software: Solución para servicios portadores del Ecuador». En: *INVESTIGATIO* 6 (2015), págs. 41-63.
- [38] Intriago Romero y Wilson Ignacio. «Estudio del protocolo Openflow usando el modelo de red definida por Software (Software Define Networks). Caso de estudio la Universidad Técnica de Manabí.» Tesis de mtría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2017.
- [39] Juan F Chafra Altamirano, Charles Escobar Terán, Santiago Silva y Renato Córdova. «Análisis y estudio de las infraestructuras hiperconvergentes para centros de datos definidos por Software». En: *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento* 1.5 (2017), págs. 524-546.
- [40] Cesar Armando Moreira Zambrano, Maryuri Lisbett Maryuri Lisbett Lopez Navarrete y Geovanny Fabián Cusme Rodríguez. «Infraestructura Hiperconvergente definida por software seguridad y evolución del centro de datos». En: *Mundo Recursivo* 2.2 (2019), págs. 1-18.
- [41] Edwin Mauro Morales Dávila. «Integración de un IDS/IPS al controlador SDN para la prevención y detección de ataques de seguridad (DOS) en un escenario de Redes Definidas por Software.» B.S. thesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.
- [42] Cristian Santiago Chiliquinga Rodríguez. «Internet de las cosas basado en redes definidas por software». B.S. thesis. Universidad Técnica de Ambato., 2020.
- [43] Francisco Xavier Aguirre Andrade y Martín Moisés Crespo Vivar. «Convergencia de redes definidas por software con OpenDaylight y NSX sobre una nube privada». B.S. thesis. 2021.
- [44] Bryon Wladimir Oviedo Bayas y Cristian Zambrano Vega. «Redes bayesianas aplicadas a la predicción de errores en las redes definidas por software». En: *Revista Universidad y Sociedad* 13.2 (2021), págs. 419-429.



- [45] Mariéa Jesús Ochoa Brito. «Características de las redes definidas por software (SDN) para su Implementación en el Ecuador.» En: (2018).
- [46] David Ricardo Moreno Palacios y Alexis Marcelo Zambrano Zambrano. «Análisis comparativo del desempeño computacional de una aplicación distribuida intensiva en datos en redes de dispositivos y redes definidas por software». B.S. thesis. Escuela Politécnica Nacional - Quito, 2018.
- [47] Dayana Mariuxi Guzmán Vélez y Carlos Andrés Cáceres Miranda. «Análisis del desempeño de redes definidas por software (sdn) frente a redes con arquitectura TCP/IP». B.S. thesis. Universidad Técnica Estatal de Quevedo - UTEQ, 2019.
- [48] Pedro Alciévar y Marlon Navia. «Comparativa entre red tradicional y red definida por software: Caso de estudio ESPAM MFL». En: *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação* E29 (2020), págs. 79-90.
- [49] Gabriel Santiago Garcíea Vásquez. «Evaluación de una red definida por software para redes de sensores inalámbricos utilizando el protocolo de descubrimiento de topología y manejo de paquetes.» En: (2020).
- [50] Geovanny Mocha Guacho y Jennifer Katherin Céleri Pacheco. «Análisis comparativo de protocolos de comunicación para redes definidas por software». En: *Hamut'ay* 7.3 (2020), págs. 39-50.
- [51] Daniela Marlith Toinga Urrutia y Daniel Roberto Peña Pérez. «Análisis de vulnerabilidades Insider contra ataques de Denegación de Servicio (DoS) en Redes Definidas por Software.» B.S. thesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019.
- [52] Luis Edison Terreros Herrera. «Análisis de vulnerabilidades de una controladora RYU en una red definida por software o SDN.» Tesis doct. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas . . . , 2020.