



## Tecnología de red definida por software para el aprendizaje en grupos de investigación y educación

*Software-defined network technology for learning in research and education groups*

Tecnologia de rede definida por software para aprendizagem em grupos de pesquisa e educação

José Silva<sup>1</sup>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia



<https://orcid.org/0000-0002-8128-9234>

[jsilvas@correo.udistrital.edu.co](mailto:jsilvas@correo.udistrital.edu.co) (correspondencia)

DOI (Genérico) : <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.005>

DOI (Documento en español) : <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.005.es>

DOI (Document in English) : <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.005.en>

Recibido 06/04/2021/ Aceptado 05/07/2021 Publicado 15/07/2021

### ENSAYO

#### PALABRAS CLAVE

Aprendizaje práctico, red definida por software, virtualización, grupos de investigación.

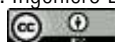
#### KEYWORDS

Hands-on learning, software-defined network, virtualization, Investigation groups

**RESUMEN.** La red definida por software (SDN) es un paradigma de red emergente y programable que cambia la forma en que se diseñan y administran las redes al introducir una abstracción que desacopla el control del plano de datos. Esta tecnología ha generado un gran interés tanto en la industria como en la academia. SDN tiene como objetivo simplificar la gestión de la red al tiempo que permite a los estudiantes, docentes e investigadores experimentar con protocolos en las redes que se usan a diario. Además, ha llevado al surgimiento de nuevas tendencias en los sistemas educativos, especialmente el sector universitario, en administración de sistemas y redes computacionales. Debido a la poca difusión de las SDN y la alta proyección que tiene actualmente esta tecnología, es fundamental que sean las entidades educativas universitarias las que incursionen en esta temática. Es por ello que, el presente ensayo es una síntesis donde se aborda la importancia de aplicar las SDN para fines educativos y en el contexto de grupos de investigación académica.

**ABSTRACT.** Software-defined networking (SDN) is an emerging, programmable network paradigm that changes the way networks are designed and managed by introducing an abstraction that decouples control from the data plane. This technology has generated a great deal of interest in both industry and academia. SDN aims to simplify network management while allowing students, faculty, and researchers to experiment with protocols on networks that are used daily. In addition, it has led to the emergence of new trends in education systems, especially the university sector, in computer systems and network administration. Due to the low diffusion of the SDN and the high projection that this technology currently has, the university educational entities must be the ones

<sup>1</sup> Magister en Ciencias de la Información y Comunicaciones. Ingeniero Electrónico Universidad Antonio Nariño, Colombia.



that venture into this subject. That is why this essay is a synthesis that addresses the importance of applying SDN for educational purposes and in the context of academic research groups.

#### PALAVRAS-CHAVE

Aprendizagem prática, rede definida por software, virtualização, grupos de pesquisa.

**RESUMO.** Rede definida por software (SDN) é um paradigma de rede programável emergente que muda a maneira como as redes são projetadas e gerenciadas, introduzindo uma abstração que desacopla o controle do plano de dados. Essa tecnologia gerou um grande interesse na indústria e na academia. SDN visa simplificar o gerenciamento de rede, permitindo que alunos, professores e pesquisadores experimentem protocolos em redes que são usados diariamente. Além disso, tem levado ao surgimento de novas tendências nos sistemas educacionais, especialmente no setor universitário, em sistemas de informática e administração de redes. Devido à baixa difusão do SDN e à alta projeção que esta tecnologia possui atualmente, é fundamental que as entidades de ensino universitário sejam as que se aventurem neste assunto. Por isso, este ensaio é uma síntese que aborda a importância da aplicação do SDN para fins educacionais e no contexto de grupos de pesquisa acadêmica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las universidades son usuarios con altas expectativas e innovadores creativos en lo que respecta a la tecnología de redes. Actualmente, los grupos de investigación y educación conectan a profesores, investigadores y estudiantes de todo el mundo para proyectos que requieren una amplia colaboración y transferencias de enormes volúmenes de datos (Alcaraz et al., 2018).

Detrás de este escenario, profesores universitarios y personal de Tecnología en Informática, que se especializan en redes, exploran continuamente cómo avanzar en el campo con nuevos diseños y/o herramientas tecnológicas. Sin embargo, satisfacer las diversas y crecientes necesidades de estos usuarios académicos es un desafío para el sector universitario. Con su diseño y configuración fijos, las redes tradicionales simplemente no pueden soportar la flexibilidad dinámica e impredecible requerida para los tipos emergentes de aplicaciones, niveles avanzados de colaboración y velocidades crecientes de flujo de datos (Yalcin et al., 2015; Vega et al., 2019).

Para resolver este reto, la industria de las redes se está enfocando en un nuevo concepto: redes definidas por software (SDN, por sus siglas en inglés). La tecnología SDN se está adoptando ampliamente en los dominios de redes comerciales, gubernamentales y, especialmente, en el sector académico (Niola, 2015; Raychev et al., 2018). Sin embargo, enseñar conceptos relacionados con SDN es un desafío debido a la naturaleza inherente de este paradigma, sus herramientas/conjuntos de habilidades tecnológicas detalladas y la evolución continua del sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Como resultado, existe una creciente necesidad de apoyar nuevas iniciativas para desarrollar investigación aplicada y metodologías de capacitación práctica.

Ahora bien, los modelos de redes tradicionales, sobre los cuales se han desarrollado todos los servicios que estas ofrecen y, además donde se basan los nuevos servicios digitales, considera a la red como un conjunto de elementos independientes, relacionados entre sí y que transfieren datos entre ellos (España, 2016). La dificultad se genera al tratar de establecer la red como un todo, y hay que entender que son elementos individuales, con conexiones y diferentes características.

Es aquí donde entra en juego la arquitectura SDN, la cual ofrece posibilidades de interactuar directamente con la red como si fuera un todo, teniendo entonces las siguientes características: 1) flexibilidad: ya que el flujo de datos se ajusta dinámicamente a los cambios de la red. 2) programable: porque se permite establecer reglas de

flujo mediante la programación, 3) administrable: ya que se tiene el control de la red centralizado, y 4) rentable: puesto a que no se necesita estar atado a un software propietario (Bone et al., 2021).

Ahora bien, el sector educativo, incluida la investigación académica, desde hace algún tiempo ha venido trabajando en el progreso y adelanto de redes basadas en software. Algunos ejemplos que se pueden mencionar son: Universidad Central del Ecuador (España, 2016), Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas en Santa Clara-Cuba (Marín, 2016), Escuela Politécnica Nacional en Quito, Ecuador (Morillo, 2014), Universidad Federal de Tecnología en Minna, Nigeria (Bima et al., 2016), y muchos otros que han impulsado la tendencia hacia las SDN.

Es por ello que se puede afirmar que, la educación unida a la informática (a través de las SDN) es un binomio que busca el equilibrio en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las habilidades necesarias para el uso cotidiano de las redes computacionales, y además, apoya el aprendizaje y la conexión que puede existir en el sistema educativo en todo el mundo, tomando en cuenta que esta tecnología facilita la búsqueda, organización y presentación de la información, permitiendo asimismo el desarrollo de las habilidades del pensamiento crítico, analítico y creativo entre docentes y estudiantes, todo ello enfocado en una tecnología de virtualización.

El propósito de este ensayo es presentar una síntesis donde se aborda la importancia de aplicar las SDN para fines educativos y en el contexto de grupos de investigación académica, para desarrollar procesos de aprendizaje y transferencia de conocimiento. Permite, además, destacar la esencia y enfoque de esta tecnología hacia la educación a distancia y semi-presencial o incluso, la educación presencial, en el contexto de su uso, impacto social y características relevantes en cuanto a capacidad para la interconexión entre diferentes tipos de medios e innovación tecnológica permanente y autosostenida. Por consiguiente, se enfatiza la orientación digital de las SDN como un concepto relativamente nuevo en la percepción del proceso educativo, en donde el centro ya no es el docente, sino el propio alumno. Es por ello que, debido a la poca difusión de las SDN en muchos países y la alta proyección que tiene actualmente esta tecnología a nivel mundial, es fundamental que sea la academia la que incurriere en esta temática.

Desde el punto de vista metodológico, el presente ensayo argumentativo posee un enfoque documental de análisis crítico, con nivel de conocimiento explicativo, respecto a las potencialidades de las SDN y su aplicabilidad en la educación e investigación académica. Se escoge el ensayo argumentativo ya que el mismo permite el impulso de las habilidades de pensamiento, está enlazado a la pedagogía y a la docencia, favoreciendo considerablemente el cultivo del habla, el desarrollo y uso de varias herramientas de la redacción del discurso académico.

A tal efecto, se estructura en cuatro puntos, a saber: descripción general de las redes definidas por software (SDN), ventajas de uso de SDN para la educación superior, aplicaciones de las SDN en disciplinas de ingeniería, tecnología de la virtualización. Aplicabilidad de las SDN en laboratorios virtuales, conclusiones relevantes y labor futura en torno al significativo rol de esta tecnología de red en el desarrollo de la educación, para responder adecuadamente a la demanda educativa actual conforme a altos niveles de calidad, mediante la correcta y responsable planificación, organización, dirección y control de los procesos que le son propios, así como el desconocimiento que todavía existe acerca del valor de las tecnologías en los procesos educativos tanto formales como en los de la educación a distancia.

## 2. DESARROLLO

## 2.1. Descripción general de las redes definidas por software (SDN)

El aumento progresivo de los dispositivos móviles, la iniciación de las aplicaciones en tiempo real, la transmisión de video, la masificación de las redes sociales, la introducción de la sistematización en la nube y muchos otros servicios, han dado como efecto el desarrollo exponencial del tráfico que circula por la red. A pesar de ello, se continúan utilizando las mismas tecnologías de hace cincuenta años y los adelantos en cuanto a nuevas formas de comunicación y tratamiento de la información son casi inexistentes. Estas son algunas de las causas por las cuales las arquitecturas de redes existentes no satisfacen las necesidades de los usuarios actualmente. (García et al., 2014; Benavices et al., 2015). Este fenómeno viene dado principalmente por las limitaciones que presentan las redes actuales, entre las que se encuentran: imposibilidad de escalabilidad, políticas inconsistentes, dependencia de los proveedores y complejidad de la arquitectura de red. Para darle solución a estas limitaciones la industria ha creado una nueva arquitectura de red, la arquitectura SDN.

Las SDN surgen como un paradigma de red relativamente nuevo. Es una herramienta tecnológica que está revolucionando el campo de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) mediante el control de los dispositivos de la red desde un software exterior, con la ayuda del protocolo OpenFlow establecido especialmente para este propósito. SDN es un conjunto tecnológico que brinda una amplia perspectiva de investigación y se prevé que en el futuro sea la base de una nueva era de las comunicaciones. Las SDN se orientan en la creación de redes virtuales muy dinámicas con base a una diversidad y complejidad de nodos que se añaden a la red (routers con capacidades de cómputo y almacenamiento), dispositivos y elementos ubicados en el borde de la red, cercanos a los usuarios.

La Fundación de Redes Abiertas (ONF, por sus siglas en inglés) conceptualiza las SDN de la siguiente manera: "Las redes definidas por software se definen como una arquitectura de red dinámica, gestionable, adaptable, de costo eficiente. Lo cual la hace ideal para las altas demandas de ancho de banda y la naturaleza dinámica de las aplicaciones actuales. Esta arquitectura desacopla el control de la red y la funcionalidad de reenvío de información permitiendo que el control de la red pueda ser completamente programable logrando que las aplicaciones y servicios de red se abstraigan de la infraestructura de red subyacente" (ONF, 2012).

La tecnología SDN permite que las aplicaciones utilicen interfaces de programación abierta para controlar y conceder recursos de red para las diversas necesidades de los usuarios, procesos, técnicas y tipos de datos de la aplicación. Es decir, las SDN funcionan fundamentalmente generando redes virtuales que son independientes de las redes físicas. Esta tecnología hace que las aplicaciones "piensen" que tienen toda la red para sí mismas, cuando en realidad la están compartiendo, obteniendo como resultado que más servidores puedan usar la red.

Actualmente, la mayoría de las personas se comunican y comparten opiniones utilizando redes informáticas establecidas a través de servicios IP. Es por ello que, los diseñadores de redes informáticas son los profesionales que han desempeñado un papel protagónico en esta nueva forma de comunicación, y con esto satisfacer una creciente demanda, se necesitan redes de computadoras que se puedan escalar, converger y administrar. Por lo tanto, el modelo tecnológico intenta brindar nuevas oportunidades para que los estudiantes y docentes reciban capacitación mediante el uso de dispositivos reales en lugar de simulaciones previamente utilizadas.

Más detalladamente, tiene como objetivo proporcionar un enfoque simple, que se basa en la tecnología de virtualización para permitir el empleo de dispositivos reales con fines educativos; con un sistema lo

suficientemente seguro y fuerte. En ese sentido, se espera que este modelo permita a los futuros administradores de redes y sistemas de computadoras desarrollar y utilizar una plataforma real de capacitación en administración de redes y sistemas que sea mucho más efectiva que los programas de simulación.

Este conjunto tecnológico permite que tanto profesores como estudiantes experimenten procesos educativos motivadores, gracias a una plataforma de desarrollo económica, simple y flexible, que cubre las ventajas tanto de la tecnología de virtualización como del hardware físico.

## 2.2. Ventajas de uso de las SDN en la educación superior

Aunque las SDN ofrecen valor para cualquier empresa, Cosgrove (2011) y Cosgrove (2016) señalan diversas ventajas de uso que hacen que esta tecnología sea particularmente atractiva para las instituciones de educación superior que aún no la han instalado en sus espacios.

Recursos de red dedicados para la investigación y colaboración. Para la mayoría de las instituciones, la primera aplicación para las SDN es generar una "Science DMZ", que no es más que un fragmento de red con un alto nivel de capacidad de datos y flexibilidad de configuración. El concepto "Science DMZ", fue propuesto por Ingenieros de ESnet, una red de investigación científica manejada por el Departamento de Energía de EE.UU. Esta, aborda los inconvenientes más comunes de rendimiento de la red que se encuentran en las instituciones de investigación al crear un entorno que se adapta a las necesidades de las aplicaciones científicas de alto rendimiento, incluyendo además, el control remoto de experimentos y visualización de datos. "Science DMZ" es escalable, implementable y simplemente adaptable para agregar tecnologías emergentes como servicios de 100 Gigabit Ethernet, circuitos virtuales y capacidades de red definidas por software.

Grandes transferencias de datos. Como se mencionó anteriormente, frecuentemente se transfieren grandes y progresivas cantidades de datos para distintos proyectos de investigación académica. No obstante, las implicaciones de la red no se tratan simplemente de tener el ancho de banda para transportar esos datos del punto A al punto B en un período de tiempo razonable. En un sentido de la realidad, los usuarios necesitan mejores formas de acceder solo a los datos que necesitan, y también precisan obtener esos datos en una forma que esté lista para ser analizada y procesada por sus herramientas de investigación. Estas capacidades son posibles solo con la aplicación de las SDN.

Entrega de servicios en la nube. Las aplicaciones que se ejecutan en una nube de red se están volviendo más populares como una forma de reducir los costos y las demandas de tecnología informativa, así como para acceder rápidamente a nuevas funciones. Aunque "nube" a menudo significa Internet, muchas de estas aplicaciones se pueden alojar y entregar fácilmente en una red de campus con SDN.

Centros de datos y entornos HPC (Computación de alto rendimiento). A medida que se transfieren más datos, colaboración y servicios en la nube de la red del campus universitario, se generan demandas paralelas para los recursos en los datos de la institución y en los espacios de computación de alto rendimiento. Para beneficio propio de la institución, SDN soporta la conectividad de red flexible necesaria para que las tecnologías de información se mantengan al día con la creciente demanda de recursos informáticos y de almacenamiento.

Investigación en red y desarrollo tecnológico. Las instituciones académicas y de investigación han sido durante mucho tiempo líderes en el desarrollo de tecnología informática y de redes. Los docentes y estudiantes de ingeniería y ciencias de la computación pueden usar SDN para desarrollar soluciones a problemas reales de

redes en un laboratorio tecnológico para acceder a la red de producción. Es decir, SDN actualmente representa una solución, ya que esta puede llevarse al laboratorio diseñando o simulando redes a través de herramientas de simulación como mininet. Además, con la tecnología SDN, las redes siguen siendo una verdadera disciplina académica porque pueden involucrar conceptos y diseño de soluciones, así como trabajar con personal profesional de redes y probar e implementar las nuevas capacidades desarrolladas por estudiantes y profesores. De forma individual o en combinación, estos casos de uso ya están siendo explorados por los departamentos de tecnología en informática de educación superior.

Algunas universidades importantes, como Stanford y Berkeley, están a la vanguardia del desarrollo de esta tecnología haciendo uso de diferentes simuladores y/o emuladores ya sea con fines educativos o investigativos (Jiménez, 2018). La herramienta de emulación mininet ofrece software SDN gratuito y documentación sobre cómo instalarlo y usarlo a través de SDX Central, además de otras ventajas, por lo que se ha convertido en una de las principales opciones para la emulación de SDN.

Ahora bien, en la parte de investigación universitaria, la generación de redes comunicacionales basadas en SDN, propicia que los investigadores académicos no solamente puedan comunicarse y colaborar con otros investigadores de otros países, sino que también, puedan manejar herramientas y recursos de investigación tales como: laboratorios, telescopios y repositorios electrónicos, bases de datos, centros de cómputo de alto desempeño, entre otros, con la consecuente mejora de la calidad y la pertinencia de sus investigaciones de avanzada (Bernal y Mejía, 2016; Jiménez, 2018). Lo que plantea esta tecnología es un enfoque para que los investigadores académicos puedan experimentar con protocolos en las redes que se usan a diario. Permitiéndoles a los mismos experimentar con conmutadores de manera uniforme a la velocidad de la línea y con una densidad de puertos muy alta. Esto, va a permitir que los investigadores puedan evaluar sus ideas en un entorno de trabajo real y ser un componente muy útil para desarrollar plataformas de pruebas a gran escala.

Estas son algunas de las universidades del mundo que incluyen la investigación y enseñanza de SDN en sus programas: Ciudad Universitaria de Nueva York, Universidad de Colorado, Universidad de Stanford, Universidad de Princeton, Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, Universidad Católica de Pereira y la Universidad Pontificia Bolivariana en Colombia. Todas estas universidades utilizan mininet como herramienta de emulación para la enseñanza de SDN y la mayoría han implementado laboratorios con equipos que soportan OpenFlow para la práctica real y la investigación (Šuh et al., 2017).

### 2.3. Aplicaciones de las SDN en disciplinas de ingeniería

En los campos de la ingeniería relacionados con las ciencias industriales, de las telecomunicaciones o de la informática, es difícil gestionar la enseñanza y el aprendizaje de la construcción de sistemas complejos en red. Sin embargo, el paradigma de las SDN complementa muchas de estas necesidades, proporcionando una herramienta en la que los estudiantes pueden tener contacto directo con grandes infraestructuras de comunicación simuladas, aplicar conceptos de redes e ingeniería e incorporar varios tipos de protocolos.

Vega et al. (2019) desarrollaron una investigación titulada “Un marco novedoso para la enseñanza e Investigación: un estudio de caso de una universidad chilena”. En la misma se presenta un marco educativo que integra actores clave, partes interesadas, fases y componentes asociados con el proceso de enseñanza-aprendizaje y sus correspondientes relaciones con el uso de mininet y el protocolo Openflow para representar topologías SDN, esto con el fin de observar cómo los estudiantes se adaptan por sí mismos a las condiciones



del entorno y así configurar entornos complejos a bajo costo y esfuerzo. En ese estudio se demostró que la aplicación del marco para realizar actividades de enseñanza e investigación relacionadas con las SDN es beneficiosa para ayudar a los estudiantes de ingeniería a desarrollar y ampliar conjuntos de habilidades en programación, redes y análisis estadístico.

Yalcin et al. (2015) desarrollaron un modelo de material educativo que fue empleado en cursos orientados a la gestión de sistemas y redes informáticas impartidos en los programas de ingeniería informática de la Universidad de Gazi (Ankara, Turquía) y la Universidad de Usak (Usak, Turquía), a lo largo de un período, todo esto basado en la tecnología SDN. En tal sentido, un total de 137 estudiantes encontraron una oportunidad de aprender los fundamentos de las SDN, la gestión de sistemas y otras materias avanzadas relacionadas con las redes computacionales. En este punto, las opiniones y sugerencias de los estudiantes sobre este modelo tecnológico sirvieron de base para tener una mejor idea sobre la efectividad de esta herramienta tecnológica en los espacios educativos, especialmente en las disciplinas de ingeniería.

Con base en estos trabajos previos, se puede argumentar entonces que, las tecnologías de la información basadas en SDN brindan muchas oportunidades para el desarrollo de materiales educativos. Entre estas oportunidades se encuentran la educación basada en la Web, las plataformas de desarrollo de contenido enriquecido y los programas de simulación. Estas aplicaciones ahora se utilizan con éxito en muchos campos de la educación. Así mismo, la retroalimentación obtenida de los estudiantes de ingeniería constata que el modelo de desarrollo de material educativo ha mostrado un buen desempeño dentro de los procesos educativos y recibió puntos positivos de la audiencia objetivo.

Del mismo modo, Dobrilovic et al. (2012) y Yalcin et al. (2015) mencionan que el modelo tecnológico SDN al utilizar tecnología de virtualización, brinda oportunidades para usar varios sistemas operativos en un solo entorno físico. Así, se ofrece un modelo de plataforma más económico, más práctico y más fácil de gestionar. El uso de simuladores en estudios educativos permite probar aplicaciones sin dañar el entorno físico ya existente. Los estudiantes pueden configurar sus propias máquinas virtuales y acceder a diferentes redes informáticas sin correr el riesgo de dañar los sistemas existentes.

Además, el uso de dispositivos de redes reales, en el mencionado modelo tecnológico, proporciona a los investigadores académicos un entorno de prueba para muchos estudios científicos futuros. En este sentido, Nachikethas y Bhaskar (2014) mencionan que, gracias a las SDN se pueden desarrollar muchas aplicaciones para la formación básica de redes informáticas, conmutación y enrutamiento. Igualmente, muchas prácticas de topología se pueden probar en términos de problemas de seguridad avanzados en función de las características de los dispositivos utilizados en el modelo. En otras palabras, las SDN ofrece las herramientas para desarrollar modelos de material educativo de gestión de sistemas y redes informáticas que puedan satisfacer las demandas y necesidades de las instituciones educativas en materia de educación en redes, gestión de sistemas y seguridad.

Muchos de los recintos universitarios, a nivel internacional, no sólo son grandes usuarios y beneficiarios de este tipo de tecnología, sino que también, son creadoras e innovadoras de nuevos métodos, estilos y conjuntos tecnológicos, que las llevan a convertirse en punta de lanza para la adopción y utilización de éstas, con la consecuente ventaja de adquirir conocimientos más novedosos, prácticas y experiencias que pueden ser transmitidos al resto de la sociedad (Fraire y Duran, 2021). Es por ello que es importante comenzar a educar a estudiantes y docentes para que puedan construir, administrar, mantener y controlar ese tipo de redes.

## 2.4. Tecnología de la virtualización. Aplicabilidad de las SDN en laboratorios virtuales

Es de conocimiento que el costo de equipar adecuadamente un laboratorio con los equipos requeridos es relativamente alto. Esto ha hecho que la enseñanza de cursos orientados a la práctica sea muy desafiante en las instituciones educativas, especialmente en aquellos países que no cuentan con fondos suficientes para ello. En este sentido, los aparatos de laboratorio deben comprarse y configurarse para su uso en el laboratorio, aparte del incremento lineal en los precios a medida que aumenta el número de estudiantes. También, existe el problema del espacio físico donde se colocará el material; de igual manera, los alumnos deben estar físicamente presentes en el laboratorio para usar los equipamientos. Por lo tanto, con el uso de la virtualización estos gastos generales se pueden eliminar o reducir a través del uso de las redes definidas por software, ya que prometen una mayor flexibilidad para crear cursos prácticos.

Ahora bien, se han llevado a cabo diversas investigaciones y trabajos relacionados con el desarrollo de laboratorios virtuales con fines educativos (Ma y Nickerson, 2006; Chan y Martin, 2012; Bima et al., 2016). A partir de estos trabajos, los laboratorios virtuales se pueden clasificar en dos: laboratorios virtuales estructurados centralizados y descentralizados.

En el caso de la estructura centralizada, los nodos cuentan con un servidor central donde se realizan todas las conexiones remotas para acceder al laboratorio. En este sentido, Dobrilovic et al. (2013), en la Universidad Federal de Tecnología en Minna-Nigeria, desarrollaron un laboratorio virtual centralizado conocido como VNLab para realizar una evaluación basada en tecnologías de virtualización. En dicho espacio virtual los estudiantes podían acceder al servidor central estableciendo una conexión remota. Los resultados obtenidos mostraron que el laboratorio virtual tiene el potencial de mejorar el aprendizaje en cursos orientados a la práctica debido a la facilidad para realizar las sesiones prácticas y, por ende, la eliminación y reducción de costos en adquisición de equipos de laboratorio.

Mientras que, en la estructura descentralizada, los nodos operan sin dependencia de un servidor central. Es decir, esto crea una amplia gama de ventajas para el desarrollo del laboratorio virtual. El uso de una estructura descentralizada es una tendencia entre la educación y los campos profesionales (Cano et al., 2016). Estos mismos autores, desarrollaron un laboratorio virtual basado en seguridad cibernética con la técnica de aprendizaje basado en juegos (GBL) empleada para fomentar el aprendizaje entre los estudiantes. Obviamente, esto se debe a las grandes ventajas derivadas de su uso, que incluyen la reutilización y la flexibilidad de realizar cambios. González et al. (2011) utilizaron algunas herramientas de virtualización gratuitas para desarrollar un laboratorio virtual con fines educativos. La aplicación de ideas desarrolladas con base en el avance de la tecnología SDN en entornos educativos hace valiosas contribuciones a los procesos de enseñanza, aprendizaje.

Así mismo, mediante la utilización de la herramienta de emulación de redes SDN mininet se pueden desarrollar escenarios para compartir conocimientos sobre cómo manejar los laboratorios de ciencia de manera virtual y efectiva y así beneficiar las necesidades de aprendizaje de los estudiantes. Un laboratorio virtual es un entorno interactivo para crear y realizar experimentos simulados. Implica la realización de experimentos con programas de simulación dependientes del dominio. De hecho, una tecnología de realidad virtual se puede adaptar para crear un laboratorio virtual para simular los procesos y acciones en laboratorios físicos.

Estos laboratorios virtuales que utilizan tecnología SDN, ofrecen a los usuarios, especialmente a profesores y estudiantes, experiencias de aprendizaje que pueden resultar poco prácticas en las aulas físicas. Los usuarios



pueden diseñar, desarrollar y lograr experimentos predeterminados que simulen experiencias y procesos en contextos del mundo real. Todos los estudiantes pueden involucrarse y participar, a diferencia de los sistemas físicos donde solo unos pocos estudiantes pueden hacer lo mismo y aprender. Los laboratorios virtuales se pueden utilizar con tecnología de visualización como proyectores interactivos o pizarrones inteligentes para una clase con todo incluido. Pueden complementar los existentes o utilizarse como autónomos, especialmente para cursos donde los laboratorios físicos no pueden desarrollarse por falta de recursos y prácticas reales. Es por ello que, los laboratorios virtuales son incluso más apropiados, importantes y rentables para las instituciones educativas de los países en desarrollo donde las instalaciones físicas están mal equipadas o no existen (Ayega y Khan, 2020; Polanco y Guerrero, 2020; Fraire y Duran, 2021).

Con base a lo señalado, la aplicabilidad en diversos entornos de las directrices SDN puede enfocarse en ciencias multidisciplinarias que incluyen Biología, Química, Física y temas relacionados con la Ingeniería Eléctrica, Mecánica, Informática y Química, Biotecnología, Ingeniería Biomédica y Civil, Ciencias de la Tierra y Agrícolas. Además, al utilizar este paquete tecnológico pueden emplearse, por ejemplo, redes de sensores que controlen pH, temperatura, humedad, o cualquier otra variable de interés; esto va a permitir a los investigadores poder acceder a gran parte de la información que se desee en áreas más amplias. De igual manera, permite que las comunidades de profesionales puedan crear y compartir recursos que de otra manera serían costosos y no estarían disponibles en los sistemas y prácticas convencionales, y con ello poder complementar el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

Por lo tanto, estos simuladores constituyen una gran oportunidad para el sector educativo. Aquí, tanto el estudiante como el docente, pueden preguntarse, experimentar, manipular variables de una situación predeterminada por el programa, contrastar resultados y volver a preguntarse. A su vez, diversos estudios señalan que los laboratorios virtuales promueven la motivación, participación y compromiso de los estudiantes impactando de manera positiva en su aprendizaje (Ayega y Khan, 2020; Bone et al., 2021).

El diseño y la implementación de una red SDN completamente operativa se ilustra de forma práctica utilizando un entorno de virtualización, que tiene como objetivo aprender los fundamentos de la gestión de enrutamiento de las redes SDN. Asimismo, en estas emulaciones pueden estar integrados mecanismos de evaluación y retroalimentación dinámicos que permiten a los estudiantes mapear los experimentos para probar, confirmar y/o probar su comprensión.

Fuertes et al (2009) realizaron varios estudios sobre el uso de tecnologías de virtualización en Universidades de España y Ecuador. Los resultados de estos estudios mostraron que la plataforma de virtualización trae diversas ventajas en estos entornos, tales como: prueba y confirmación de software, bajo costo, plataforma de enseñanza-aprendizaje, servicios de red y prueba de análisis de tráfico.

En un informe publicado por IBM expusieron que la mayoría de las instituciones educativas de EE.UU. declararon que la compra regular de nuevas computadoras para los estudiantes supondría una carga para la economía del país. Es por ello que sugirieron que la tecnología de virtualización permite utilizar los equipos disponibles durante más tiempo (IBM, 2006). En otras palabras, la tecnología de virtualización, centrada en las SDN, es un modelo de desarrollo de material educativo de gestión de sistemas y redes informáticas que puede satisfacer las demandas y necesidades de las instituciones educativas en materia de educación en redes, gestión de sistemas y seguridad.

En este contexto, el uso de plataformas informáticas virtuales ofrece ciertas ventajas: Primero, como una opción importante para proporcionar plataformas económicas para la investigación y la experimentación. En segundo lugar, como estrategia competitiva para compartir hardware y reducir la inversión en hardware. En tercer lugar, como una innovación educativa para proporcionar plataformas rentables para los procesos de enseñanza-aprendizaje. Además, esta tecnología reduce el riesgo de daños en entornos reales, así como el costo de desarrollo y experimentación.

### 3. CONCLUSIONES Y LABOR FUTURA

Las principales conclusiones de este ensayo se centran en las características beneficiosas de las SDN frente a otras tecnologías existentes, y en las capacidades potenciales para construir escenarios prácticos con un bajo costo de infraestructura, tiempo de configuración y esfuerzo, además de favorecer a los estudiantes y docentes investigadores a concentrar su tiempo, además del aprendizaje de los objetivos esenciales de la asignatura, explotando adecuadamente sus competencias.

Definitivamente, las redes tradicionales de datos han llegado al límite de sus capacidades. Este es un momento ideal para que las instituciones de educación superior comiencen a definir estrategias para llevar la tecnología SDN a sus campus. Idealmente, estas estrategias cubrirán actualizaciones de planes y presupuestos de redes, así como proyectos piloto para ganar experiencia con este nuevo enfoque de redes.

La evolución en los últimos años en el ámbito de las TIC está creando una mayor demanda de ancho de banda y acceso a Internet por parte de los usuarios, así como de una gestión más flexible y dinámica de sus servicios. El uso de la arquitectura SDN brinda ventajas significativas con respecto a las redes tradicionales como: facilidad de innovación y gestión, independencia de proveedores e incremento del rendimiento. SDN se considera como una solución prometedora para satisfacer estas demandas.

La tecnología SDN proporciona una plataforma para la creación de materiales educativos sobre temas relacionados con la gestión de redes y sistemas de computadoras. En este punto, los materiales creados satisfacen las necesidades relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje dentro de red de informática, gestión de sistemas, y también procesos de formación en seguridad de redes realizados en instituciones educativas. En este sentido, sería interesante desarrollar futuros estudios que aborden la compatibilidad de este modelo con la tecnología de computación en la nube para que sea posible integrar esta herramienta a un modelo de gestión de redes y sistemas informáticos al que se pueda acceder de forma remota. Si se implementa esta tecnología y usan los simuladores puede permitir o facilitar a los investigadores, estudiantes entre otros poder implementar sistemas complejos.

Finalmente, se recomienda extender el desarrollo de otros proyectos relacionados con las SDN que puedan ser puestos a disposición de los estudiantes y que contribuyan a mejorar sus habilidades en las asignaturas que ejercitan la profesión. Colocar a disposición de los usuarios en general interesados en estos materiales complementarios pueda estar disponibles en plataformas e-learning interactivas y puedan ser accedidos por la red.

#### **Conflicto de intereses / Competing interests:**

El autor declara que no incurre en conflictos de intereses.

#### **Rol de los autores / Authors Roles:**

No aplica.

**Fuentes de financiamiento / Funding:**

El autor declara que no recibió un fondo específico para esta investigación.

**Aspectos éticos / legales; Ethics / legals:**

El autor declara no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.

**REFERENCIAS**

- Alcaraz, C., Ortega, A., Roman, R. (2018). The Role of Software-Defined Networks for Practical Learning in the Engineering Areas. *Proceedings*, 2(21), 1352. <https://doi.org/10.3390/proceedings2211352>.
- Ayega, D., Khan, A. (2020). Students Experience on the Efficacy of Virtual Labs in Online Biology. ICEEL 2020: 2020 The 4th International Conference on Education and E-Learning, 75-79. <https://doi.org/10.1145/3439147.3439170>
- Benavices, C., García, I., Alaiz, H., Alonso, A., Alija, J. (2015). Networking Control Education by the use of Software Defined Networking Tools and Techniques. *IFAC-PapersOnLine*, 48(29), 307-312. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.253>.
- Bernal, I., Mejía, D. (2016). Las Redes Definidas por Software y los Desarrollos Sobre Esta Temática en la Escuela Politécnica Nacional. *Revista Politécnica*, 37(1), 43-53.
- Bima, M., Inalegwu, O., Folorunso, T., Oyefolahan, I., Etuk, S., Simeon, B. (2016). An Implementation of a Software Defined Network based virtual laboratory. *International Conference on Information and Communication Technology and Its Applications*. 232-235.
- Bone, M., Rodríguez, J., Sosa, S., Núñez, L. (2021). Aplicaciones de SDN en infraestructura de redes educativas. *Ciencia Digital*, 5(1), 219-231. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i1.1539>.
- Cano, J., Hernández, R., Ros, S., Tobarra, L. (2016). A distributed laboratory architecture for game based learning in cybersecurity and critical infrastructures. In *13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*. 183– 185. <https://doi.org/10.1109/REV.2016.7444461>.
- Cosgrove, S. (2011). Bringing together a low-cost networking learning environment. SIGITE '11 Proceedings of the 2011 conference on Information technology education (Oct. 2011), 101-106.
- Cosgrove, S. (2016). Teaching Software Defined Networking: It's not just coding. Conference: IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE). 10.1109/TALE.2016.7851784
- Chan K., Martin, M. (2012). An integrated virtual and physical network infrastructure for a networking laboratory. In *7th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*. 1433-1436, IEEE.
- Dobrilovic, D., Brtko, V., Berkovic, I., Odadzic, B. (2012). Evaluation of the virtual network laboratory exercises using a method based on the rough set theory. *Computer Applications in Engineering Education*, 20, 29–37. <https://doi.org/10.1002/cae.20370>.
- Dobrilovic, D., Jevtic, V., Odadzic, B. (2013). Expanding Usability of Virtual Network Laboratory in IT Engineering Education. *International Journal of Online Engineering*, 9, 26-32. <http://dx.doi.org/10.3991/ijoe.v9i1.2388>.
- España, N. (2016). *Diseño y simulación de una Red Definida por Software (SDN)*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Fuertes, W., López, J., Meneses, F. (2009). Educational Platform using Virtualization Technologies: Teaching-Learning Applications and Research Use Cases. In *II ACE Seminar: Knowledge Construction in Online Collaborative Communities*, Albuquerque, NM-USA.



- Fraire, J., Duran, J. (2021). Revising Computer Science Networking Hands-On Courses in the Context of the Future Internet. *IEEE Transactions on Education*, 64(2), 133-138. 10.1109/TE.2020.3015673.
- García, A., Rodríguez, C., Calderón, C., Carrillo, F., (2014). Controladores SDN, elementos para su selección y evaluación. *Revista Telemática*, 13(3), 10-20.
- González, A., García, C., Candela, S. (2011). Providing learning computing laboratories using hosting and virtualization technologies. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 6, 252-259. 10.1109/EDUCON.2011.5773145.
- IBM. (2006) Virtualization in Education. IBM Global Education White. Paper (October-2006).
- Jiménez, P. (2018). *Desarrollo de prácticas de laboratorio de SDN en Mininet*. (Trabajo de Diplomado). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
- Ma, J., Nickerson, J. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 7-es. <https://doi.org/10.1145/1132960.1132961>.
- Morillo, D. (2014). *Implementación de un prototipo de una red definida por software (SDN) empleando una solución basada en software*. (Tesis de Ingeniería). Quito, Ecuador.
- Nachikethas, J., Bhaskar, K. (2014). Software Defined Networking Paradigms in Wireless Networks: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 47(2), 27:13. <http://dx.doi.org/10.1145/0000000.0000000>.
- Niola, N. (2015). *Análisis del uso de software educativo como herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de matemática en los estudiantes del 5° E.G.B de la Unidad Educativa particular Leonhard Euler*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil. Ecuador, Guayaquil.
- Open Networking Foundation (ONF). (2012). Software-defined networking: The new norm for networks. ONF White Paper, 2, 2-6.
- Polanco, O., Guerrero, F. (2020). Virtualised Environment for Learning SDN-based Networking. *IETE Journal of Education*, 61(2), 90-100. <https://doi.org/10.1080/09747338.2020.1838337>.
- Raychev, J., Kinaneva, D., Hristov G., Zahariev, P. (2018). Development and Integration of Educational Software Defined Networking Platform in Computer Networking Classes. *17th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*. pp. 1-5. 10.1109/ITHET.2018.8424616.
- Šuh, J., Bojović, Ž., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Labus, A. (2017). Designing a course and infrastructure for teaching software-defined networking. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(4), 554-567. <https://doi.org/10.1002/cae.21820>.
- Vega, C., Prieto, Y., Pezoa, J., Sobarzo, S., Ghani, N. (2019). A Novel framework for SDN teaching and research: A Chilean University case study. *IEEE Communications Magazine*, 57(11), 67-73. 10.1109/MCOM.001.1900261.
- Yalcin, N., Altun, Y., Kose, U. (2015). Educational Material Development Model for Teaching Computer Network and System Management. *Computer Applications in Engineering Education*, 23, 621-629. 10.1002/cae.21636.

