IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage:
https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Análisis de rendimiento de controladores SDN en una red emulada para tráfico de streaming

Performance analysis of SDN controllers in an emulated network for streaming traffic

Santiago Meneses Narvaez[a], Emilio Zhuma Mera[a], Kevin Cedeño[a], Steveen Quiros[a]

[a]Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Recibido/Received: 2026-01-08
Aceptado/Accepted: 2026-06-12
Publicado/Published: 2026-07-31
Autor de correspondencia: smenesen@uteq.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1352
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

SDN; Controladores; Streaming; Mininet; Tráfico de red.

RESUMEN

Las redes definidas por software (SDN) requieren controladores eficientes para gestionar tráfico sensible al tiempo, pero existe evidencia limitada sobre su desempeño comparativo bajo condiciones de carga exigentes. Este estudio tiene como objetivo comparar el desempeño de OpenDaylight (ODL), ONOS y Ryu en tráfico de streaming multimedia bajo distintos niveles de concurrencia. La metodología consistió en implementar una topología SDN emulada en Mininet, transmitir streaming con VLC desde un host emisor hacia 5, 10 y 19 receptores, y ejecutar 10 repeticiones por escenario. Se midieron latencia, jitter, throughput, pérdida de paquetes, disponibilidad y consumo de memoria. Los resultados muestran que Ryu mantiene el mejor equilibrio entre continuidad del servicio y entrega efectiva conforme aumenta la concurrencia. ONOS presenta desempeño competitivo, mientras que ODL evidencia mayor sensibilidad al incremento de carga en métricas de entrega. Se concluye que la selección del controlador debe priorizar continuidad y fiabilidad de entrega en alta concurrencia.

KEYWORDS:

SDN; Controllers; Streaming; Mininet; Network traffic.

ABSTRACT

Software-defined networking (SDN) requires efficient controllers to manage time-sensitive traffic, yet there is limited evidence of their comparative performance under demanding load conditions. This study aims to compare the performance of OpenDaylight (ODL), ONOS, and Ryu for multimedia streaming traffic under different levels of concurrency. The methodology consisted of implementing an emulated SDN topology in Mininet, transmitting streaming traffic with VLC from a sender host to 5, 10, and 19 receivers, and executing 10 repetitions per scenario. Latency, jitter, throughput, packet loss, availability, and memory consumption were measured. The results show that Ryu maintains the best balance between service continuity and effective delivery as concurrency increases. ONOS presents competitive performance, whereas ODL shows greater sensitivity to increased load in delivery-related metrics. It is concluded that controller selection should prioritize continuity and delivery reliability under high concurrency.

Cómo citar

S. Meneses Narvaez, E. Zhuma Mera, K. Cedeño, and S. Quiros, "Análisis de rendimiento de controladores SDN en una red emulada para tráfico de streaming," *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, p. 11, 2026, https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1352

1. Introducción

Las redes definidas por software (SDN) están transformando las telecomunicaciones al proporcionar mayor flexibilidad, escalabilidad y programabilidad en la gestión del tráfico [1, 2]. Al separar el plano de control del plano de datos, permiten automatizar decisiones de encaminamiento [3], y aplicar políticas de red con mayor precisión que en arquitecturas tradicionales. Esta capacidad es determinante ante el crecimiento de servicios sensibles al tiempo [4], donde la calidad de servicio exige baja latencia [5], variación controlada del retardo y pérdidas mínimas [6].

Dentro de este esquema de control, el controlador SDN actúa como la entidad lógica que mantiene la visión de la red e implementa reglas de flujo [7], políticas y respuesta ante eventos [8, 9]. En tráfico sensible al tiempo, su desempeño influye en la rapidez de instalación y actualización de flujos [10], la gestión de prioridades y el overhead de señalización, factores que impactan latencia, jitter y pérdidas [11]. Debido a que los controladores difieren en arquitectura y capacidad de procesamiento, su comportamiento puede variar significativamente bajo condiciones de carga [12, 13].

Si bien la selección adecuada de un controlador SDN puede mejorar el desempeño de la red en servicios sensibles al tiempo [14, 15], aún existen vacíos en el análisis de su rendimiento bajo condiciones de tráfico exigentes. En escenarios de alta carga se han reportado diferencias marcadas entre controladores, por ejemplo, RTT de 17.5 ms frente a 300.6 ms y pérdidas de 124 frente a 321 paquetes [16]. Asimismo, la alternativa más adecuada puede variar según el tamaño de la red y la prioridad de las métricas consideradas [17]. En consecuencia, se requiere evidencia comparativa que respalde una selección técnica adecuada.

Los controladores ODL, ONOS y Ryu fueron seleccionados por representar enfoques arquitectónicos ampliamente utilizados en entornos SDN [18]. OpenDaylight (ODL) es una plataforma modular y extensible, orientada a despliegues generales e integración de múltiples protocolos [19]. ONOS adopta una arquitectura distribuida orientada a alta disponibilidad y tolerancia a fallos relevante en escenarios de mayor escala [17]. Ryu es un controlador ligero y programable, común en prototipado por su simplicidad y bajo consumo [20]. Esta selección permite comparar modelos de control bajo las mismas condiciones de prueba.

Este artículo tiene como objetivo comparar el desempeño de los controladores ODL, ONOS y Ryu en una red SDN emulada con tráfico de streaming multimedia bajo distintos niveles de concurrencia. El aporte del estudio consiste en proporcionar evidencia experimental bajo condiciones controladas, considerando métricas de calidad de servicio, continuidad y consumo de recursos. Con ello, se busca orientar la selección técnica de controladores SDN en escenarios donde la entrega efectiva y la estabilidad del servicio son factores determinantes.

2. Materiales y métodos

2.1. Metodología de investigación

El estudio adopta un enfoque comparativo en un entorno emulado, con el objetivo de contrastar el desempeño de controladores SDN bajo las mismas condiciones. Se seleccionaron controladores representativos por su arquitectura y compatibilidad con OpenFlow, para asegurar comparabilidad. El diseño considera tres escenarios de carga y un servicio de streaming, a partir de los cuales se obtiene evidencia cuantitativa.

2.2. Diseño del escenario

Se definieron tres escenarios de carga para evaluar el comportamiento de una red SDN en un entorno emulado. En todos los casos se mantuvo una topología base común, integrando el plano de datos con un switch OpenFlow y un controlador SDN, de modo que las condiciones de red sean equivalentes entre pruebas. Cada escenario modifica únicamente el nivel de carga asociado al servicio de streaming, preservando la comparabilidad entre controladores.

La arquitectura del escenario considera la separación lógica entre el plano de control y el plano de datos, donde el controlador gestiona la instalación y actualización de reglas de flujo mediante OpenFlow. La topología y configuración base se mantuvieron constantes para los tres controladores evaluados, evitando que cambios estructurales introduzcan sesgos. Con ello, las diferencias observadas se atribuyen al desempeño del controlador y a su respuesta ante incrementos de carga.

Topología de red. Se adoptó una topología jerárquica de tres capas para organizar el plano de datos y facilitar el análisis comparativo bajo condiciones homogéneas. La arquitectura integra núcleo, distribución y acceso, con un plano de control SDN centralizado. La Figura 1 presenta la topología utilizada en todas las pruebas.

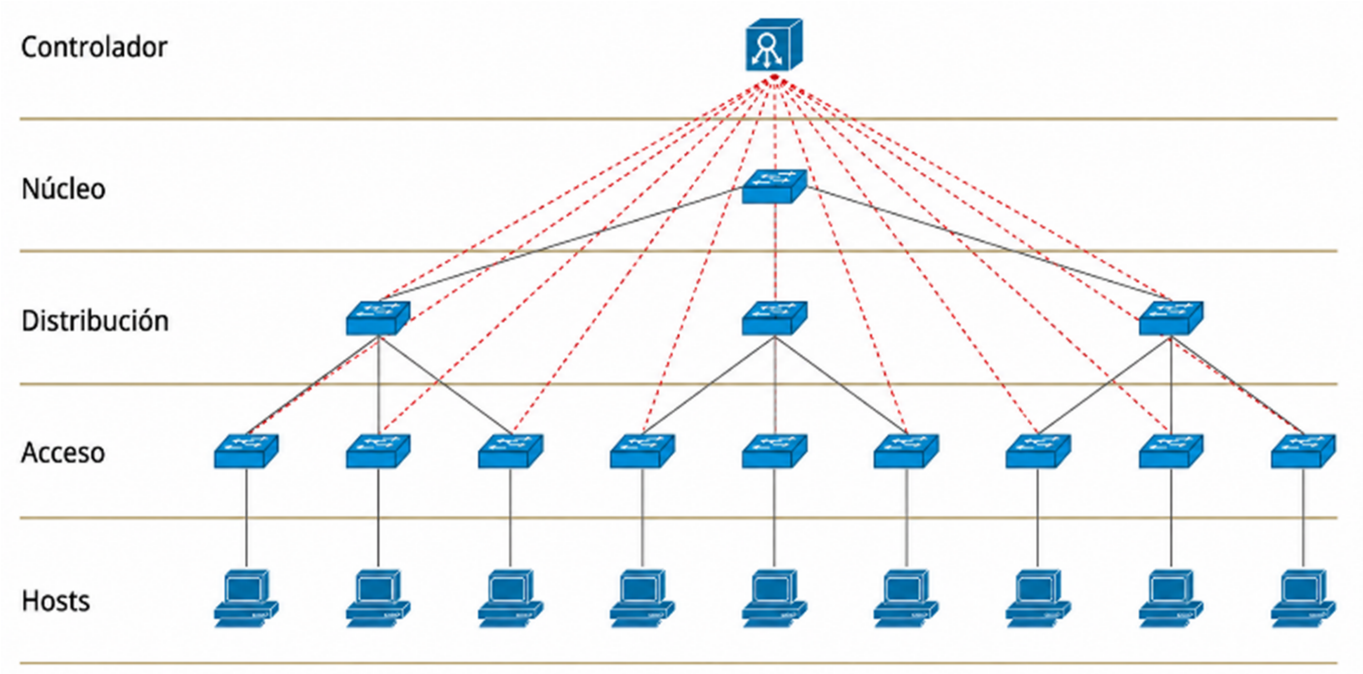

Figura 1: Topología de red diseñada

Escenarios de carga. Los niveles de carga permiten controlar la concurrencia del servicio de streaming y observar el comportamiento del controlador ante incrementos progresivos de demanda. En la Tabla 1 se presenta la definición de los tres escenarios considerados, en función del número de receptores y el nivel de carga asociado.

Tabla 1: Escenarios de carga

Escenario	Nivel de carga	Número de receptores	Descripción
1	Baja	5	Evaluación base del controlador en baja concurrencia de transmisión.
2	Media	10	Análisis del controlador frente a un incremento moderado de tráfico multimedia.
3	Alta	19	Examinación del controlador bajo condiciones de alta concurrencia y saturación de red.

La carga se incrementa mediante el aumento del número de receptores, manteniendo constante la topología y la configuración base. Esta definición permite comparar controladores bajo condiciones equivalentes y aislar el efecto de la concurrencia sobre el plano de control. Los tres escenarios se aplican de forma uniforme para cada controlador evaluado.

Dimensionamiento del tráfico de streaming. Para asegurar que los escenarios representen incrementos controlados de demanda, se dimensionó la capacidad del enlace crítico en función del caudal del servicio. La Tabla 2 resume la relación entre receptores concurrentes y capacidad configurada.

Tabla 2: Dimensionamiento de la demanda agregada respecto a la capacidad del enlace

Escenario	Capacidad del enlace (Mbps)	Relación demanda/capacidad
Baja	20	Demanda próxima al umbral.
Media	20	Demanda superior a la capacidad.
Alta	20	Demanda muy superior a la capacidad.

La relación entre la demanda y capacidad se obtiene estimando la demanda agregada como el producto entre el número de receptores concurrentes y el bitrate pico del flujo, mientras la capacidad del enlace se mantiene constante. Con este criterio, el nivel bajo queda próximo al umbral sin congestión permanente, el nivel medio lo supera y el nivel alto lo excede ampliamente.

2.3. Métricas de evaluación

Las métricas de evaluación permiten caracterizar el desempeño de los controladores SDN bajo tráfico de streaming y condiciones de carga definidas. En la Tabla 3 se presentan las métricas consideradas.

Tabla 3: Métricas utilizadas

Métrica	Descripción	Relevancia en el estudio
Latencia	Retardo extremo a extremo (RTT).	Indica la capacidad para sostener tiempos de respuesta bajos.
Jitter	Variación del retardo entre paquetes.	Evalúa la estabilidad temporal del flujo bajo carga.
Throughput	Tasa efectiva de transferencia (Mbps).	Refleja la eficiencia al mantener el caudal del servicio.
Pérdida de paquetes	Porcentaje de paquetes no entregados.	Mide la fiabilidad y la degradación por congestión.
Disponibilidad	Porcentaje de entrega exitosa, complementaria a la pérdida.	Representa la continuidad del servicio durante la prueba.
Consumo de memoria	Memoria promedio utilizada por el controlador.	Evalúa la demanda de recursos y la estabilidad operativa.

Las métricas seleccionadas permiten caracterizar el comportamiento del plano de control al gestionar tráfico de streaming bajo diferentes niveles de carga. La latencia y el jitter reflejan la respuesta temporal del sistema controlado, mientras que el throughput y la pérdida evidencian la capacidad de sostener la entrega de datos ante incrementos de demanda. La disponibilidad y el consumo de memoria complementan el análisis al describir la continuidad del servicio y la estabilidad operativa del controlador.

2.4. Herramientas

Máquinas virtuales. Las máquinas virtuales permiten alojar el entorno de emulación de forma aislada y controlada, facilitando la replicación de las pruebas. En la Tabla 4 se muestra una comparativa entre diferentes plataformas de virtualización.

Tabla 4: Tipos de máquinas virtuales

Software	Licencia	Facilidad de uso	Consumo de recursos	Compatibilidad
VirtualBox	Libre / GPL	Alta	Medio	Windows, Linux
VMware Workstation	Propietaria	Media-alta	Medio	Windows, Linux
KVM + QEMU	Libre / GPL	Media	Medio	Linux
HyperV	Propietaria	Media	Medio	Windows
Xen Project	Libre	Media	Medio	Linux
Parallels Desktop	Propietaria	Alta	Medio	macOS

Se seleccionó VMware Workstation por su compatibilidad con Windows y Linux, facilitando la construcción del entorno. Aunque es propietaria, su disponibilidad gratuita para uso personal resultó práctica para el laboratorio. Esta elección permitió alojar de forma consistente el emulador y los componentes necesarios para la evaluación.

Emuladores de red. Los emuladores de red permiten representar topologías y evaluar el comportamiento de una SDN bajo condiciones definidas, integrando el plano de control y el plano de datos. En la Tabla 5 se muestra una comparativa entre diferentes emuladores.

Tabla 5: Emuladores de red

Simulador	**Consumo de recursos**	**Compatibilidad**	**Soporte SDN**
GNS3	Alto	Windows, Linux, macOS	Alta, requiere imágenes externas.
Mininet	Bajo	Linux	Alta, nativo con OpenFlow.
CORE	Medio	Linux	Media.
EVENG	Alto	Linux	Alta.
Containerlab	Bajo–medio	Linux	Alta, topologías reproducibles con contenedores.
NS-3	Media-alta	Linux, macOS	Media–baja.

Mininet fue elegido por su soporte de SDN y OpenFlow, y su capacidad de ejecutar hosts y switches virtuales en Linux. Su integración con controladores facilita emular el plano de control y el plano de datos bajo condiciones comparables. Además, su bajo consumo de recursos y API en Python permite que sea replicable en pruebas.

Herramientas de medición. Las herramientas empleadas permiten asegurar trazabilidad entre el tráfico generado, la captura de paquetes y el cálculo de métricas, además del monitoreo de recursos. La Tabla 6 sintetiza cada herramienta y su función dentro del flujo de medición.

Tabla 6: Herramientas en el proceso de medición

Herramienta	**Propósito en el estudio**	**Métricas asociadas**	**Evidencia**
VLC	Generación y recepción del flujo multimedia.	Throughput, pérdida indirecta por tráfico observado.	Sesión de streaming activa.
Wireshark	Captura del tráfico de streaming.	Caracterización del flujo, bitrate.	Capturas y gráficos de tráfico.
TShark	Procesamiento automatizable de capturas.	Throughput, pérdida, conteos.	Métricas derivadas de capturas.
Ping	Medición de RTT entre extremos.	Latencia (RTT), jitter, variación RTT.	Estadísticos de RTT.
GNOME System Monitor	Monitoreo de recursos del proceso.	Consumo de memoria.	Lecturas de memoria del controlador.

Se priorizaron herramientas ejecutables en el entorno de laboratorio para automatizar mediciones y validar el comportamiento del flujo. El mapeo evita discrepancias entre lo descrito en la metodología y lo reportado en resultados, y simplifica la verificación técnica del experimento.

2.5. Procedimiento de medición

El servicio de streaming se implementó utilizando VLC Media Player en modo consola para transmitir video desde un host emisor hacia múltiples receptores según el escenario de carga. Previo a las pruebas comparativas, se determinó el bitrate efectivo del video mediante transmisiones de prueba, valor que sirvió de referencia para dimensionar la capacidad de los enlaces y asegurar condiciones realistas de operación.

Para mantener consistencia, cada escenario se ejecutó diez veces por controlador. Las métricas obtenidas en cada ejecución se procesaron para producir valores representativos por escenario y controlador, manteniendo la misma topología, configuración base y servicio de streaming durante todas las pruebas.

La latencia se calculó como el RTT promedio registrado mediante ping, mientras que el jitter se definió como la desviación estándar de los RTT de cada ejecución, correspondiente al valor mdev reportado por la misma herramienta. El throughput se estimó con TShark a partir de los bytes recibidos por segundo convertidos a Mbps. La pérdida de paquetes se calculó como la proporción de paquetes no entregados respecto al total enviado, y la disponibilidad como su complemento porcentual. El consumo de memoria se registró como el uso promedio de RAM del proceso del controlador durante el reposo y la transmisión del servicio.

3. Resultados

Durante las pruebas se mantuvieron constantes el entorno emulado, la topología de red, la configuración base y el servicio de streaming, con el fin de asegurar comparabilidad entre controladores. La evaluación se estructuró variando el controlador SDN (ODL, ONOS y Ryu) y el nivel de carga definido por los tres escenarios. Para cada combinación controlador y escenario se realizaron diez ejecuciones continuas, y los resultados se consolidaron en valores representativos para su análisis comparativo. Estos resultados se circunscriben al escenario y herramientas descritas.

3.1. Escenario de carga baja

En el escenario de carga baja (5 receptores), se evaluó ODL, ONOS y Ryu manteniendo topología y servicio de streaming constantes, con 10 repeticiones por controlador. La Figura 2 resume latencia, jitter, pérdida, disponibilidad y throughput agregados. Este escenario establece la línea base del plano de control antes de efectos de saturación.

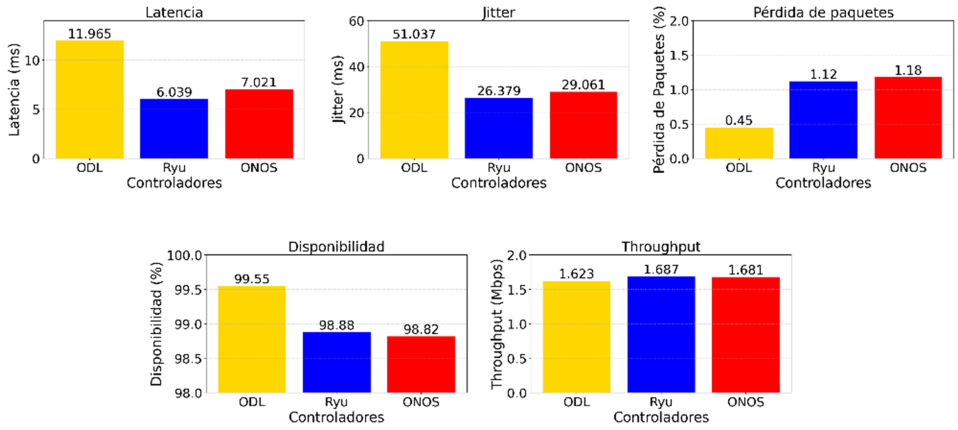

Figura 2: Métricas de desempeño en carga baja

En carga baja, la estabilidad se interpreta desde las métricas de entrega del servicio (pérdida de paquetes, disponibilidad y throughput). La pérdida se mantuvo en valores reducidos, entre 0.45 % y 1.18 %, la disponibilidad superó el 98 % en todos los controladores y el throughput permaneció en un rango cercano, entre 1.623 y 1.687 Mbps. Bajo estos criterios, el escenario funciona como línea base de operación sin congestión sostenida. No obstante, la respuesta temporal presentó diferencias, ya que Ryu y ONOS registraron menor latencia y jitter, mientras ODL mostró mayor retardo y variación.

3.2. Escenario de carga media

En el escenario de carga media (10 receptores), se incrementó la concurrencia del servicio de streaming manteniendo constante la topología y la configuración base. La Figura 3 resume latencia, jitter, pérdida, disponibilidad y throughput agregados. Estos resultados describen el comportamiento del plano de control bajo estrés moderado, previo a condiciones de saturación.

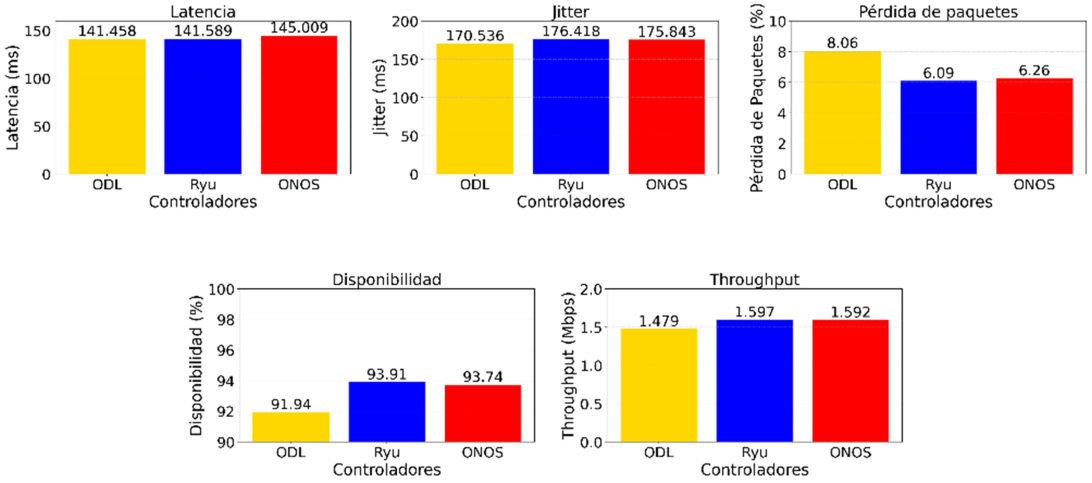

Figura 3: Métricas de desempeño en carga media

En este escenario de carga, la latencia se mantiene prácticamente equivalente entre controladores, con una ligera desventaja de ONOS. ODL logra el menor jitter, pero exhibe el peor comportamiento de entrega, reflejado en mayor pérdida y menor disponibilidad, lo que también afecta el throughput efectivo. Ryu muestra el mejor equilibrio global, reduce pérdidas, sostiene mayor disponibilidad y alcanza el mayor throughput, mientras ONOS se mantiene cercano en desempeño.

3.3. Escenario de carga alta

En el escenario de carga alta se evaluó el comportamiento de los controladores bajo concurrencia elevada, manteniendo constantes topología, configuración y el servicio de streaming, con 10 repeticiones por controlador. La Figura 4 integra las métricas y continuidad del servicio.

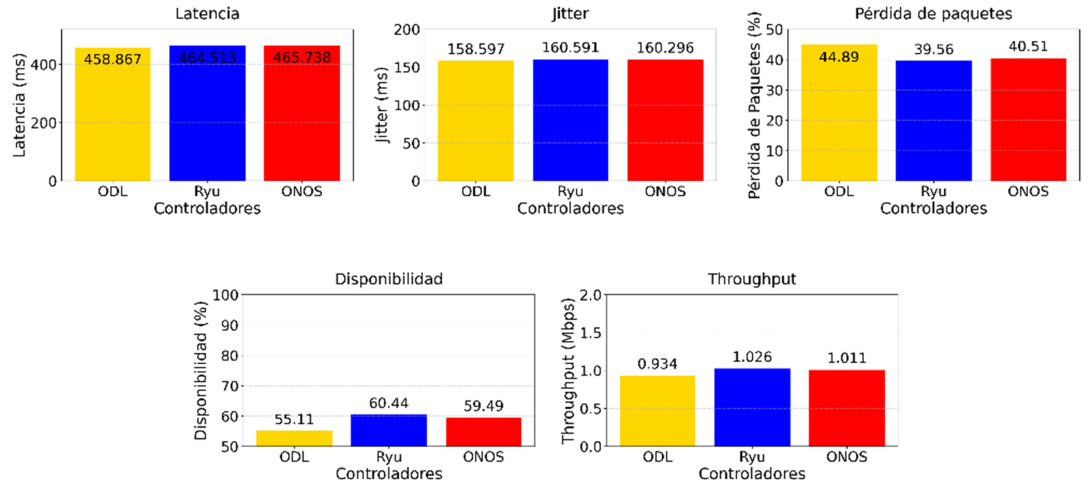

Figura 4: Métricas de desempeño en carga alta

En carga alta se muestra una degradación marcada. Aumentan la latencia y el jitter y disminuye la entrega efectiva del servicio. ODL presenta el desempeño menos favorable porque registra la mayor pérdida y la menor disponibilidad y esto se asocia con el throughput más bajo. Ryu mantiene un mejor comportamiento al sostener mayor disponibilidad y throughput con menor pérdida. ONOS se mantiene próximo a Ryu, pero con ligera desventaja en la fiabilidad de entrega.

3.4. Consumo de recursos del controlador

El consumo de memoria se midió por separado de los escenarios de carga porque depende sobre todo de la arquitectura y procesos internos del controlador y no escala linealmente con el tráfico. La Figura 5 compara el uso promedio en reposo y con el servicio de streaming para los respectivos controladores.

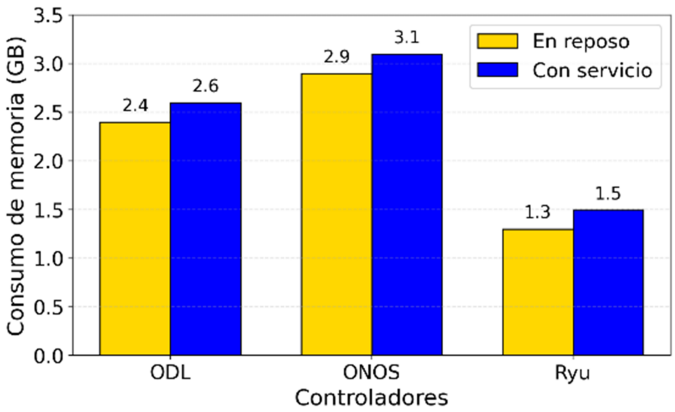

Figura 5: Consumo de memoria del controlador en reposo y con servicio

El controlador ONOS registra el mayor consumo en ambos estados, seguido por ODL, mientras Ryu mantiene el menor requerimiento de memoria. En los tres controladores, la ejecución del servicio incrementa moderadamente el uso respecto al reposo, lo que indica carga adicional por manejo de eventos y procesamiento de flujos. La separación entre controladores es más marcada que la variación entre estados, por lo que la selección impacta directamente el dimensionamiento de la VM y el margen operativo.

3.5. Síntesis comparativa del desempeño mediante diagramas radiales

El desempeño global de los controladores se resume mediante una comparación integrada por nivel de carga. A continuación, se presentan diagramas radiales construidos con métricas normalizadas bajo un criterio uniforme de mejor desempeño. Un polígono con mayor cobertura refleja un balance más favorable entre estabilidad temporal, eficiencia de entrega y continuidad del servicio.

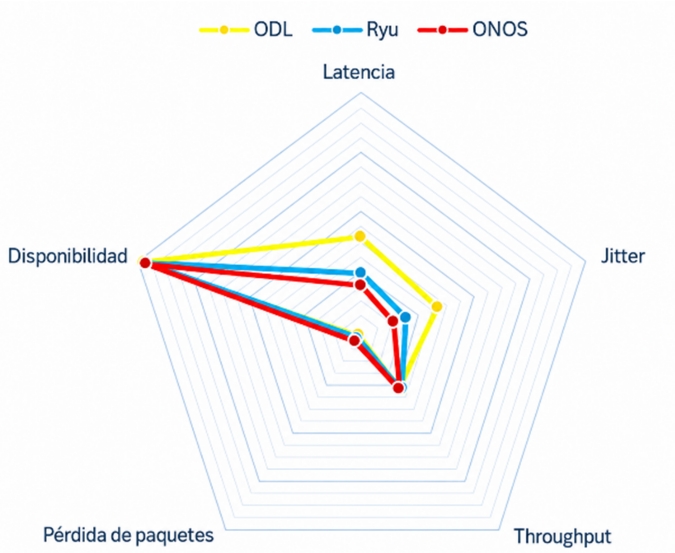

Figura 6: Síntesis radial en carga baja

El escenario de carga baja representa una condición base sin indicios de saturación. En la Figura 6 se aprecia que no existe un dominio total en todas las dimensiones. El resultado permite identificar ventajas específicas por controlador antes de introducir estrés por concurrencia.

Con carga media, las diferencias entre controladores se vuelven más sensibles a la entrega efectiva del tráfico. La Figura 7 muestra un perfil más equilibrado para el controlador que sostiene mejor continuidad, mientras el de menor cobertura concentra su deterioro en métricas de entrega. Este patrón sugiere que el estrés moderado revela la capacidad de sostener QoS sin degradación marcada de fiabilidad.

En carga alta, el sistema opera cercano a saturación y el desempeño integrado se reduce en los tres casos. La Figura 8 evidencia una contracción general de la cobertura, con un controlador manteniendo ventaja relativa por mejor continuidad del servicio y menor degradación por pérdida. La lectura dominante en este nivel es la robustez en entrega y disponibilidad como factor decisivo de comparación.

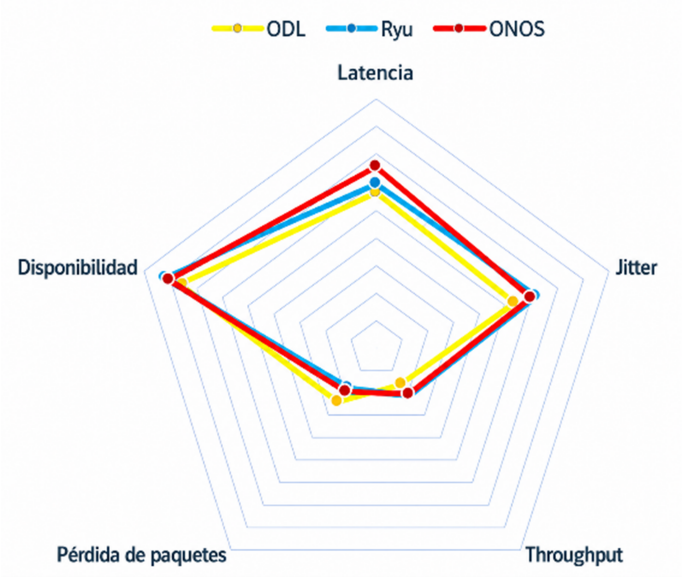

Figura 7: Síntesis radial en carga media

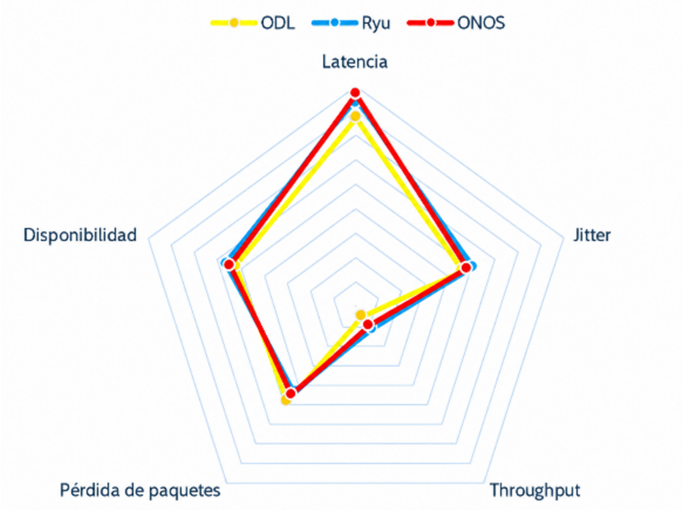

Figura 8: Síntesis radial en carga alta

3.6. Discusión

El análisis integrado muestra que el desempeño de los controladores cambia conforme aumenta la concurrencia del servicio. En carga baja, las diferencias se concentran principalmente en latencia y jitter, mientras que en carga media y alta adquieren mayor peso la pérdida, disponibilidad y throughput. Este comportamiento indica que, bajo condiciones cercanas a saturación, la continuidad del servicio resulta más determinante que una ventaja aislada en respuesta temporal.

Estos resultados son consistentes con estudios previos que reportan variaciones relevantes entre controladores SDN bajo condiciones de carga, especialmente en métricas temporales y de pérdida [16]. Asimismo, coinciden con la idea de que la selección del controlador depende del escenario evaluado y de las métricas priorizadas [17]. En particular, el desempeño favorable de Ryu en escenarios de concurrencia creciente se relaciona con reportes que destacan su comportamiento en diferentes configuraciones de red [13].

El aporte de este estudio radica en evaluar ODL, ONOS y Ryu bajo tráfico de streaming multimedia y niveles progresivos de concurrencia, manteniendo constantes la topología y el servicio. Esta aproximación permite observar no solo diferencias de rendimiento general, sino también la capacidad de cada controlador para sostener continuidad de entrega. En consecuencia, los resultados ofrecen criterios técnicos para seleccionar controladores SDN en servicios sensibles al tiempo dentro del entorno emulado evaluado.

El estudio se realizó en un entorno emulado, lo que condiciona la generalización directa a redes físicas de producción. La topología evaluada, el tipo de tráfico y los niveles de carga representan condiciones específicas que podrían no reflejar escenarios reales de mayor complejidad. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como evidencia comparativa válida dentro del entorno controlado descrito, y no como conclusiones absolutas sobre el desempeño de los controladores en cualquier contexto de despliegue.

4. Conclusiones

Este trabajo abordó la falta de evidencia comparativa sobre el rendimiento de controladores SDN en servicios sensibles al tiempo bajo tráfico exigente. Se ejecutó una evaluación controlada en un entorno emulado, manteniendo constantes topología, configuración y servicio de streaming, y variando únicamente el controlador y el nivel de carga por concurrencia. Se analizaron ODL, ONOS y Ryu por representar arquitecturas ampliamente utilizadas y comparables bajo OpenFlow. Se midieron métricas de calidad de servicio y continuidad, y el consumo de memoria se estimó por separado en reposo y con servicio.

Los hallazgos muestran una clara transición al aumentar la carga. En carga baja se obtiene una línea base estable donde las diferencias reflejan compromisos entre respuesta temporal y fiabilidad de entrega. En carga media aparecen degradaciones iniciales y el desempeño se vuelve más sensible a pérdida y disponibilidad, que condicionan el caudal útil. En carga alta el régimen es cercano a saturación y la diferenciación se define principalmente por entrega efectiva y continuidad del servicio, mientras las ventajas marginales en retardo pierden peso.

La comparación confirma que no existe un controlador dominante en todas las métricas, pero sí perfiles consistentes. Ryu mantiene el balance más favorable conforme crece la concurrencia, al sostener mejor entrega efectiva y continuidad con degradación relativa menor. ONOS se mantiene competitivo y cercano en el perfil global, coherente con su enfoque de alta disponibilidad. ODL muestra mayor sensibilidad al incremento de carga, concentrando el deterioro en entrega y continuidad, lo que afecta el throughput percibido por los receptores.

En términos de selección técnica, para streaming con concurrencia creciente conviene priorizar el controlador que preserve continuidad y entrega, dado que pérdida y disponibilidad determinan la experiencia cuando se aproxima la saturación. Si el objetivo es optimizar estabilidad temporal en condiciones base, pueden considerarse ventajas puntuales en latencia y jitter, siempre evaluando su impacto en fiabilidad al escalar carga. El consumo de memoria aporta un criterio directo de dimensionamiento del entorno y del margen operativo en despliegues virtualizados.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autores — CRediT

Kevin Cedeño: simulación.

Emilio Zhuma: conceptualización.

Santiago Meneses: metodología y validación.

Steveen Quiroz: redacción y visualización.

Financiación

No aplica.

Reseñas de autores

Santiago Meneses Narváez

El Ing. Santiago Meneses es Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicaciones y posee una Maestría en Telecomunicaciones, títulos obtenidos en la Universidad Técnica del Norte (UTN). Actualmente se desempeña como docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), donde desarrolla actividades académicas y de investigación en el área de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Su experiencia se orienta al desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas aplicadas a la educación, electrónica, telecomunicaciones y sistemas digitales. Se encuentra afiliado institucionalmente a la UTEQ.

Correo: smenesesn@uteq.edu.ec

ORCID: 0009-0007-7177-4870

Emilio Rodrigo Zhuma Mera

Es Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Universidad de Guayaquil y posee una Maestría en Conectividad y Redes de Ordenadores por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Actualmente se desempeña como docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, donde desarrolla actividades académicas y de investigación relacionadas con las TIC. Su experiencia profesional se encuentra vinculada a los sistemas computacionales, conectividad, redes de ordenadores y desarrollo de soluciones tecnológicas.

Correo: ezhuma@uteq.edu.ec

ORCID: 0000-0002-3086-1413

Kevin Damián Cedeño Rodríguez

Es Ingeniero en Telemática por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Actualmente se desempeña como profesional independiente, desarrollando actividades relacionadas con las TIC. Su experiencia y área de interés se encuentran vinculadas al ámbito tecnológico y al desarrollo e implementación de soluciones relacionadas con las TIC.

Correo: kcedenor3@uteq.edu.ec

ORCID: 0009-0006-4851-2883

Steveen Isaías Quiroz Nieves

Es Ingeniero en Telemática por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Actualmente se desempeña como profesional independiente, desarrollando actividades relacionadas con las TIC. Su experiencia y área de interés se encuentran vinculadas al ámbito tecnológico y al desarrollo e implementación de soluciones relacionadas con las TIC.

Correo: squirozn@uteq.edu.ec

ORCID: 0009-0004-8506-9193

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

Sí se utilizó inteligencia artificial como apoyo técnico o complementario.

Finalidad declarada: generación o procesamiento de imágenes/gráficos.

Herramienta empleada: ChatGPT.

Referencias

[1] A. Aljughaiman and S. Almarri, “The pivotal role of software defined networks to safeguard against cyber attacks: a comprehensive review,” *PeerJ Computer Science*, vol. 11, p. e2814, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.2814

[2] H. Riggs, A. Khalid, and A. I. Sarwat, “An overview of SDN issues—a case study and performance evaluation of a secure OpenFlow protocol implementation,” *Electronics*, vol. 14, no. 16, p. 3244, Aug. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS14163244

[3] S. Meneses, E. Zhuma, M. Bajaña, and D. Intriago, “Algoritmo adaptativo para consumo energético en redes de internet de las cosas,” *MASKAY*, vol. 16, no. 2, pp. 25–32, Dec. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.24133/maskay.v16i2.4294

[4] Y. Xu and J. Huang, “A survey on time-sensitive networking standards and applications for intelligent driving,” *Processes*, vol. 11, no. 7, p. 2211, Jul. 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/PR11072211

[5] M. Di Mauro, M. Longo, and F. Postiglione, “Performability evaluation of software defined networking infrastructures,” in *ValueTools 2016 - 10th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, May 2017, pp. 88–95. [Online]. Available: https://doi.org/10.4108/EAI.25-10-2016.2266605

[6] M. Guo, G. Shou, Y. Liu, and Y. Hu, “Software-defined time-sensitive networking for cross-domain deterministic transmission,” *Electronics*, vol. 13, no. 7, p. 1246, Mar. 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS13071246

[7] A. J. Gonzalez, G. Nencioni, B. E. Helvik, and A. Kamisiński, “A fault-tolerant and consistent SDN controller,” in *Proceedings - IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM*, 2016. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2016.7841496

[8] S. R. Mishra, B. Shanmugam, K. C. Yeo, and S. Thennadil, “SDN-enabled IoT security frameworks—a review of existing challenges,” *Technologies*, vol. 13, no. 3, p. 121, Mar. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/TECHNOLOGIES13030121

[9] O. A. Fernando, H. Xiao, J. Spring, and X. Che, “A performance evaluation for software defined networks with P4,” *Network*, vol. 5, no. 2, p. 21, Jun. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/NETWORK5020021

[10] M. Ali *et al.*, “Performance and scalability analysis of SDN-based large-scale Wi-Fi networks,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 7, p. 4170, Mar. 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/APP13074170

[11] A. Ram and S. K. Chakraborty, “Analysis of software-defined networking (SDN) performance in wired and wireless networks across various topologies, including single, linear, and tree structures,” *Indian Journal of Information Sources and Services*, vol. 14, no. 1, pp. 39–50, Feb. 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.51983/IJISS-2024.14.1.3926

[12] C. Ren, S. Wang, J. Ren, X. Wang, T. Song, and D. Zhang, “Enhancing traffic engineering performance and flow manageability in hybrid SDN,” in *Proceedings - IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM*, 2016. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2016.7841819

[13] A. Montazerolghaem and S. Imanpour, "Evaluation and performance analysis of the Ryu controller in various network scenarios," *Contributions of Science and Technology for Engineering*, vol. 3, no. 2, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.22080/cste.2025.28843.1022

[14] A. Al-Najjar, F. Pakzad, S. Layeghy, and M. Portmann, "Link capacity estimation in SDN-based end-hosts," in *10th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS 2016 - Proceedings*, 2016. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/ICSPCS.2016.7843372

[15] M. B. Leouro, A. R. Amine, and B. Narkoy, "Comparative analysis of SDN controller scalability: Experimental evaluation with Mininet and Cbench," *International Journal of Engineering and Computer Science*, vol. 14, no. 12, pp. 28 054–28 061, Dec. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.18535/IJECS/V14I12.5361

[16] F. E. Aslan and M. B. Al-Somaidai, "Performance analysis of various SDN controllers with different network size in SDWN," 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.4108/eai.7-9-2021.2314875

[17] I. Koulouras, I. Bobotsaris, S. V. Margariti, E. Stergiou, and C. Stylios, "Assessment of SDN controllers in wireless environment using a multi-criteria technique," *Information*, vol. 14, no. 9, p. 476, Aug. 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/INFO14090476

[18] C. Jayawardena, J. Chen, A. Bhalla, and L. Bu, "Comparative analysis of POX and RYU SDN controllers in scalable networks," *International Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 17, no. 2, pp. 35–51, Apr. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.5121/ijcnc.2025.17203

[19] N. Makondo, T. Mathonsi, W. Mnyandu, H. Kobo, and D. Du Plessis, "Towards a heterogeneous distributed SDN control plane system: A comparative review of open network operating system and open daylight," in *icABCD 2025 - Proceedings of the 2025 International Conference on AI, Big Data, Computing and Data Communication Systems*, vol. 25, Nov. 2025, p. 10. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3759023.3759117

[20] R. Wainwright, M. Bagheri, A. Salama, and R. Saatchi, "Software-defined networking security detection strategies and their limitations with a focus on distributed denial-of-service for small to medium-sized enterprises," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 23, p. 12389, Nov. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/APP152312389