

MONITORIZACIÓN DE ACUERDOS DE NIVELES DE SERVICIO (SLA) EN ENTORNOS DE REDES B5G/6G: UNA PROPUESTA

Yenia Leyva Labrador¹, Jorge Enrique Preciado Velasco², José Eleno Lozano Rizk³

^{1,2,3} Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918
Zona Playitas, CP 22860, Ensenada, B.C, México.

¹e-mail: lyenia@cicese.edu.mx

²e-mail: jprecia@cicese.edu.mx

³e-mail: jlozano@cicese.edu.mx

RESUMEN

El dinamismo y la heterogeneidad del tráfico en redes 5G y 6G dificultan garantizar niveles de servicio (SLA). Se propone un sistema para gestión y monitorización predictiva de SLA mediante integración de monitorización en tiempo real, redireccionamiento dinámico de flujos y análisis predictivo con *Machine Learning* en entornos SDN. Al detectar incumplimientos de métricas o anticipar congestión, dirige tráfico priorizando baja latencia y adapta recursos de red de forma proactiva para optimizar SLA. Si bien se requiere posterior implementación y evaluación, la propuesta representa una solución prometedora ante los desafíos actuales de aseguramiento de calidad de servicio con tráfico heterogéneo en redes de nueva generación.

PALABRAS CLAVES: Redes B5G/6G, Monitorización SLA, Redes SDN, *Machine Learning*.

MONITORING OF SERVICE LEVEL AGREEMENTS (SLA) IN B5G/6G NETWORK ENVIRONMENTS: A PROPOSAL

ABSTRACT

The dynamism and heterogeneity of traffic in 5G and 6G networks make it difficult to guarantee service levels (SLA). A system is proposed for predictive SLA management and monitoring through integration of real-time monitoring, dynamic flow redirection and predictive analysis with Machine Learning in SDN environments. By detecting metric violations or anticipating congestion, it redirects traffic prioritizing low latency and proactively adapts network resources to optimize SLAs. Although further implementation and evaluation is required, the proposal represents a promising solution to the current challenges of ensuring quality of service with heterogeneous traffic in new generation networks.

INDEX TERMS: B5G/6G Networks, SLA Monitoring, SDN Networks, Machine Learning.

1. INTRODUCCIÓN

A medida que el mundo se sumerge en una transformación digital, las redes móviles continúan siendo el epicentro de la innovación. La competencia global por la implementación de la tecnología 5G impulsa la conectividad inteligente, abriendo nuevas perspectivas para avances más allá del 5G. Con el objetivo de asegurar un progreso sostenible en las comunicaciones de próxima generación, los investigadores enfocan sus esfuerzos en el desarrollo de las redes 6G. Esta nueva generación se perfila como una tecnología altamente demandada, con servicios avanzados, altas tasas de transferencia, baja latencia y gran capacidad, respaldados por la computación distribuida y la inteligencia artificial en el borde.

El 6G presenta diversos casos de uso [1], [2], entre ellos, Ancho de Banda Móvil Mejorado (eMBB, por las siglas del término en inglés, *Enhanced Mobile Broadband*) el cual se enfoca en mejorar la velocidad, capacidad y cobertura de redes móviles para admitir aplicaciones avanzadas como Realidad Virtual, Video *Streaming* y Juegos Avanzados, ofreciendo velocidades gigabit, baja latencia y alta confiabilidad. Comunicación Masiva Tipo Máquina (mMTC, por

las siglas del término en inglés, *Massive Machine Type Communications*), aborda la conectividad masiva de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT, por las siglas del término en inglés, *Internet of Things*) proporcionando conectividad para miles de millones de dispositivos con requisitos diversos. Comunicación Ultra confiable y de Baja Latencia (uRLLC, por las siglas del término en inglés, *Ultra-Reliable Low Latency Communications*) garantiza baja latencia y alta confiabilidad para aplicaciones críticas como la Automatización Industrial y Vehículos Autónomos. Además, se espera que el 6G integre inteligencia artificial en el borde de la red para procesamiento y toma de decisiones en tiempo real, y soporte capacidades avanzadas de detección y seguridad para garantizar la privacidad y protección de datos en un entorno conectado y seguro.

La complejidad, flexibilidad y dinamismo de las redes 6G requiere que la red en sí sea gestionada de un modo automatizado. El crecimiento del tráfico en las redes actuales y futuras complica la gestión, requiriendo la reinención de modelos de red para centralizar la administración y evitar configuraciones individuales. Los enfoques de gestión tradicionales resultan insuficientes debido a la complejidad de los parámetros en redes B5G/6G y la evolución constante, lo que impulsa la necesidad de recurrir a técnicas de Inteligencia Artificial (AI, por las siglas del término en inglés, *Artificial Intelligence*) el Aprendizaje de Máquina (ML, por las siglas del término en inglés *Machine Learning*), las Redes Definidas por Software (SDN, por las siglas del término en inglés, *Software Defined Networking*) y la Virtualización de Funciones de Red (NFV, por las siglas del término en inglés, *Network Functions Virtualization*) para una gestión efectiva de los servicios en tiempo real.

Por este motivo se requiere una red que se adapte a todas las aplicaciones/servicios y les proporcione una atención especializada, por lo que surge el *Network Slicing* o segmento de red [2] en las redes 5G para permitir la prestación de servicios personalizados con diferentes requisitos en una única red, al crear múltiples enlaces lógicos punto a punto sobre una misma infraestructura física. Cada NS viene asociado a un Acuerdo o Contrato de Nivel de Servicio (SLA, por las siglas del término en inglés, *Service Level Agreement*).

Se han realizado varias investigaciones como por ejemplo en [3] se presenta un marco integrado de gestión de Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) para entornos 5G en la plataforma de 5GTANGO donde se implementa en un ambiente 5G real, demostrando la detección de una violación de SLA al desplegar un servicio de red en un *network slice*. Los autores en [4] generaron un modelo basado en el comportamiento del SLA para la predicción del *throughout*. En [5] presenta un marco de trabajo para el monitoreo y gestión de Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) en servicios de telecomunicaciones, se propone una arquitectura de sistema muy general que puede interoperar con sistemas actuales de monitoreo de desempeño y herramientas de gestión. Los autores en [6] presentan una propuesta para el reconocimiento de patrones en métricas de tráfico para el cumplimiento de los SLA en entornos de redes B5G.

Se han realizado varios aportes al tema, sin embargo, no se ha implementado un mecanismo de gestión y monitorización en tiempo real de redes de nueva generación que intervengan en la violación de los contratos de los SLA. En este artículo se presenta una propuesta de un Sistema Monitorización Automatizado de SLA en redes B5G/6G, vigilando la no existencia de violaciones de los SLA, para mejorar la eficiencia, la calidad de servicio, el rendimiento y el aprovisionamiento óptimo de los recursos de la red.

2. METODOLOGÍA, CONTENIDO Y MARCO DE REFERENCIA

Para el desarrollo de esta propuesta se establece la siguiente metodología:

1. Considerar los trabajos de clasificación de servicios-aplicaciones en el ecosistema de redes móviles 6G, así como, los formatos generales (*templates*) y la asignación de los recursos necesarios con los parámetros de Calidad de Servicio (QoS, por las siglas del término en inglés, *Quality of Service*) inherentes a los *network slices* creados para cada servicio.
2. Trabajar en el seguimiento (no violación) del cumplimiento de los SLA (gestión de monitorización), y en consecuencia la mejora de la Calidad de Experiencia (QoE, por las siglas del término en inglés, *Quality of Experience*) por parte del proveedor de red y satisfacción del cliente.
3. Realizar gestión automatizada para evitar la violación de los SLA y evitar así, tanto la sobre-asignación como la sub-asignación de recursos de red.
4. Implementar las soluciones correspondientes (ajustes) en tiempo real de acuerdo con el comportamiento y desempeño de los NS con el objetivo de mejorar la asignación de recursos de red del proveedor de servicios.

Con el fin de llevar a cabo con eficacia la metodología descrita anteriormente, se hace imperativo establecer un marco de referencia sólido que proporcione la estructura necesaria para la implementación y evaluación de las estrategias propuestas. Este marco de referencia servirá como guía integral para contextualizar y optimizar la clasificación de servicios-aplicaciones en el emergente ecosistema de redes móviles 6G, así como para gestionar eficientemente los recursos asignados a los *network slices*. En esta sección, exploraremos los fundamentos y la importancia del marco de referencia en el contexto de nuestra metodología, destacando su papel clave en la consecución de los objetivos propuestos.

3. ACUERDO DE NIVEL DE SERVICIO SLA

Un Acuerdo de Nivel de Servicio SLA [7] es un contrato formal o acuerdo entre un proveedor de servicios y un cliente que establece los niveles de calidad y rendimiento esperados para un servicio específico. Los principales componentes de un SLA suelen incluir: objetivos de rendimiento, responsabilidades, métricas de medición, procedimientos de seguimiento/reporte y consecuencias por incumplimiento.

ESTRUCTURA DE UN SLA

Un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) típicamente consta de dos partes: una técnica y otra no técnica, como se ilustra en la Figura. 1 [4]. La parte no técnica está conformada por los Objetivos de Nivel de Servicio (SLO, por las siglas del término en inglés, *Service Level Objectives*), que desglosan el SLA en metas individuales. Estos definen métricas para hacer cumplir o supervisar el SLA, evaluando si se alcanzan los objetivos. Algunos ejemplos incluyen el tiempo de actividad, el tiempo medio entre fallas (MTBF, por las siglas del término en inglés, *Mean Time Between Failures*), el tiempo de respuesta y el tiempo medio de reparación (MTTR, por las siglas del término en inglés, *Mean Time To Repair*). También se incluyen en los parámetros no técnicos los procedimientos de violación, que se activan en caso de incumplimiento de las especificaciones del Nivel de Servicio (SLS, por las siglas del término en inglés, *Service Level Specifications*) [4].

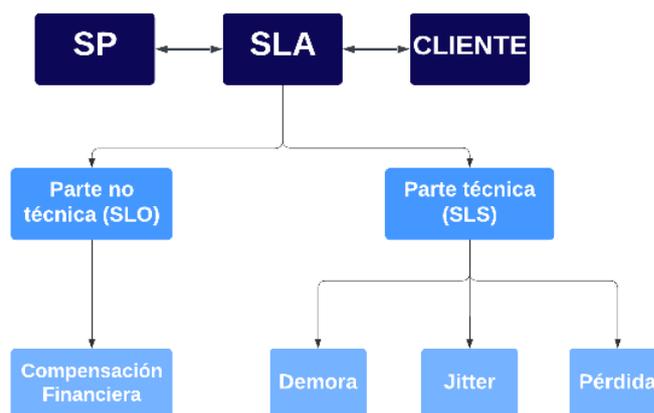


Figura. 1: Estructura de un SLA [4].

Por otro lado, las Especificaciones del Nivel de Servicio (SLS) constituyen la parte técnica de un SLA e incorporan métricas de Calidad de Servicio (QoS), como latencia, rendimiento, variabilidad (*jitter*), pérdida de paquetes y disponibilidad, entre otras. Las SLS contribuyen al control integral de la QoS de extremo a extremo, utilizando métricas cuantitativas o cualitativas [9].

CICLO DE VIDA DE UN SLA

La gestión del SLA en el contexto del dominio 5G es una faceta integral de la prestación de servicios, dirigida por las plataformas de servicios 5G. Este proceso dinámico se despliega a través de cuatro fases fundamentales: arquitectura, compromiso, operación y terminación, como ilustra la Figura. 2. El ciclo de vida del SLA se encuentra totalmente alineado con los principios centrales de 5G y opera en paralelo con el ciclo de vida del servicio de red [8].



Figura. 2: Esquema del ciclo de vida de un SLA [4].

Como se observa en la Figura.2 la primera etapa inicia con la elección de un servicio de red y la definición de requisitos por parte del desarrollador. El operador, generalmente, revisa y considera estos requisitos comerciales fundamentales, implementando Plantillas de SLA como una oferta inicial para los clientes del servicio [9]. En la segunda fase, la selección de servicios de red se basa en consideraciones comerciales, estableciendo restricciones de Calidad de Servicio (QoS) que también pueden ser definidas como requisitos del acuerdo. La preferencia de un operador o proveedor de servicios de red depende del servicio de red deseado, sus características y restricciones presupuestarias. Las expectativas de QoS llevan a los usuarios a negociar con sus operadores o proveedores de servicios los niveles acordados. Tras una negociación exitosa, se genera un SLA para describir los parámetros de QoS acordados [9].

Posteriormente, la fase de operación implica el despliegue real del servicio, la población de servicios con datos en ejecución, el establecimiento de canales de comunicación y otras actividades operativas. Esta fase monitorea datos en tiempo real para evitar o gestionar violaciones inesperadas de los SLA [4]. En la fase de terminación, se maneja el fin de la relación entre el operador o proveedor de servicios y el cliente, incluyendo la evaluación de alternativas, compromisos de liquidación y terminación, exportación de datos, atención al cliente y diligencia, así como la supresión de datos. Todos estos aspectos deben considerarse si el servicio de red se rescinde o se viola el SLA [9].

La propuesta que se presenta está enmarcada en las fases 3 y 4 de Operación y Terminación ya que se realizará la monitorización posterior el establecimiento del *network slice*. Cabe destacar que las dos primeras fases del ciclo de vida del SLA, han sido previamente abordadas y profundizadas en otros trabajos anteriores [6].

4. PROPUESTA DE SISTEMA DE GESTIÓN Y MONITORIZACIÓN DE SLA

En la Figura. 3 se propone un esquema de un sistema de gestión y monitorización de SLA en entornos de redes B5G/6G. La propuesta en la Figura. 3 se basa en la integración de varios conceptos avanzados que son esenciales para su implementación eficaz como son las Redes Definidas por Software (SDN), la herramienta de simulación Mininet, una API de monitorización y redireccionamiento, así como técnicas avanzadas de *Machine Learning* (ML). Cada uno de estos componentes desempeña un papel esencial en nuestra visión de proporcionar un sistema capaz de adaptarse dinámicamente a las cambiantes demandas del entorno de red, anticipando incumplimientos de SLA y optimizando la asignación de recursos. A continuación, exploraremos detalladamente cada uno de estos conceptos, destacando su contribución significativa a la eficacia global de nuestro Sistema de Gestión y Monitorización de SLA.

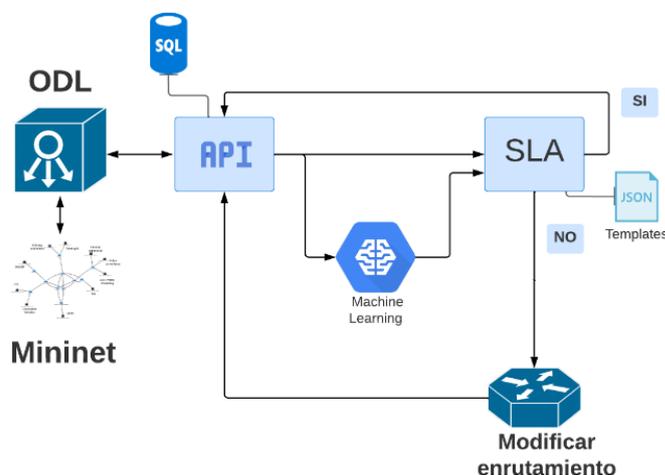


Figura. 3: Sistema propuesto (Elaboración propia).

REDES SDN

Las Redes Definidas por Software (SDN) [10] introducen un nuevo paradigma en la gestión y el control de redes, con cinco características principales:

1. Separación del plano de control y el plano de datos. SDN separa las decisiones de control y enrutamiento (plano de control) de la transferencia real de datos (plano de datos). Esto posibilita la gestión centralizada y el control programable de la red.
2. Programabilidad y automatización: permite programar el comportamiento de red a través de Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por las siglas del término en inglés, *Application Programming Interface*), facilitando la automatización de tareas y la creación de políticas [12].
3. Abstracción de recursos: las aplicaciones interactúan con interfaces abstractas sin necesidad de entender la complejidad de hardware.
4. Gestión centralizada: el controlador SDN centralizado recopila información de red y toma decisiones de enrutamiento y configuración. Esto habilita visibilidad completa y control efectivo desde un único punto.
5. Flexibilidad y adaptabilidad: la programabilidad de SDN permite responder ágilmente a nuevas necesidades y aplicaciones sin realizar cambios físicos en la infraestructura. SDN es altamente adaptable [13].

CONTROLADORES SDN

En el contexto de las Redes Definidas por Software (SDN), la eficaz administración y control de la infraestructura se ha convertido en un factor crítico, por lo que escoger adecuadamente el controlador desempeña un papel crucial en la gestión efectiva de la red. Realizando una exploración de los principales controladores [11]:

1. **Ryu:** Controlador SDN desarrollado en *Python*, de código abierto. Es versátil, pero tiene menor rendimiento que otros. Simplifica la gestión de tráfico y permite diseñar aplicaciones de control de red. Carece de independencia respecto a hardware específico. No se usa ampliamente en aplicaciones del mundo real [13].

2. **OpenDaylight (ODL):** Iniciativa *open source* para mejorar SDN. Actúa como plataforma colaborativa. Soporta múltiples estándares y protocolos SDN [12]. Es un controlador modular, altamente disponible. Facilita desarrollar aplicaciones de análisis y definir políticas, mayormente usado en centros de datos.
3. **ONOS:** Controlador de alto rendimiento para redes de telecomunicaciones. Núcleo distribuido con replicación. Permite interacción por CLI, GUI y API *REST*. Independiente de protocolos. Representa redes y estados internamente. Compatible con múltiples versiones de *OpenFlow*.
4. **POX:** Plataforma SDN desarrollada en *Python* para conectar conmutadores vía *OpenFlow/OVSDB*. Permite desarrollar controladores en *Python* [11]. Tiene servidor *RADIUS* y controlador de autenticación. Útil para prevenir ataques (DoS, por las siglas del término en inglés, *Denial of Service*) y de suplantación de identidad.
5. **Floodlight:** Controlador SDN de código abierto basado en Java. Regula el tráfico usando *OpenFlow*. Carece de autenticación en migración de hosts, permitiendo suplantación. Utiliza perfiles de host con índices de direcciones MAC, IP, VLAN, etc. para mitigar problemas de seguridad [12].

Al realizar una comparación entre los controladores analizados podemos resumir que todos los proyectos son de código abierto. *ODL* y *ONOS* son controladores distribuidos por lo que pueden escalar de forma más eficiente en entornos más grandes y complejos; además presentan una mejor disponibilidad, documentación, frecuencia de actualización y comunidad [13].

La elección de *OpenDaylight (ODL)* como plataforma para implementaciones de Redes Definidas por Software (SDN) se justifica por su destacada modularidad, flexibilidad, interoperabilidad, versatilidad y solidez. La arquitectura modular de *ODL* permite una adaptación específica a las necesidades del usuario al proporcionar módulos independientes y personalizables [12]. Su flexibilidad se evidencia en la capacidad de ajustar y configurar estos módulos según los requisitos del entorno de red. Además, *ODL* destaca por su fuerte interoperabilidad, al ser compatible con diversos controladores SDN y protocolos estándar de la industria. La versatilidad de la plataforma se refleja en su amplio conjunto de características, que abarcan desde la programación de flujos hasta la gestión de políticas, lo que la convierte en una opción integral para diversas aplicaciones SDN. Por último, la solidez de *ODL* se respalda tanto en su comunidad activa como en su cumplimiento de estándares abiertos, garantizando un rendimiento confiable y sostenible en entornos de red de distintos tamaños y complejidades. En conjunto, estas cualidades hacen de *ODL* una elección estratégica para aquellos que buscan una plataforma SDN robusta y adaptable [13].

PLATAFORMA DE SIMULACIÓN MININET

Se eligió la plataforma Mininet para la simulación de la red ya que es una plataforma de emulación de red de código abierto que emerge como un recurso esencial para el desarrollo y pruebas de redes SDN. Al ofrecer un banco de pruebas virtual, crea un entorno de desarrollo que permite a los ingenieros simular complejas topologías de red en un espacio controlado y realista [6]. Su compatibilidad con sistemas operativos basados en Linux y su interfaz de programación de aplicaciones (API) desarrollada en *Python* facilitan la implementación y personalización de escenarios de red. Además, Mininet destaca por su integración fluida con diversos controladores SDN, otorgando flexibilidad y versatilidad a los desarrolladores. La riqueza de su documentación proporciona una guía exhaustiva, convirtiendo a Mininet en una herramienta valiosa para explorar, experimentar y optimizar entornos de red en el contexto dinámico de las redes definidas por software [6].

INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES (API)

Se utilizará una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) para la monitorización y direccionamiento en la propuesta presentada. Una API es un conjunto de reglas y definiciones que permite a diferentes aplicaciones o sistemas comunicarse entre sí, facilitando el intercambio de datos y la ejecución de funciones específicas [14].

Una Interfaz de Programación de Aplicaciones basada en Transferencia de Estado Representacional (API *REST*, por las siglas del término en inglés, *Representational State Transfer Application Programming Interface*) como se ilustra en la Figura. 4 se distingue por varias características esenciales [14]. En primer lugar, adopta una arquitectura basada en estándares web, utilizando protocolos HTTP para la transferencia de datos. Además, sigue el principio de representación de recursos, lo que significa que los datos están organizados y accesibles de manera jerárquica, permitiendo una fácil navegación. La comunicación se realiza mediante operaciones HTTP estándar, como *GET* para obtener información, *POST* para crear nuevos recursos, *PUT* para actualizarlos y *DELETE* para eliminarlos. La API *REST* es *stateless* (sin estado), lo que implica que cada solicitud del cliente al servidor contiene toda la información

necesaria para comprender y procesar la solicitud, sin necesidad de mantener el estado de la sesión. Esto resulta en una arquitectura simple, escalable y fácilmente mantenible [14]. Además, la API REST utiliza formatos de representación comunes como JSON o XML, lo que facilita la interoperabilidad y la integración con diversas aplicaciones y sistemas.

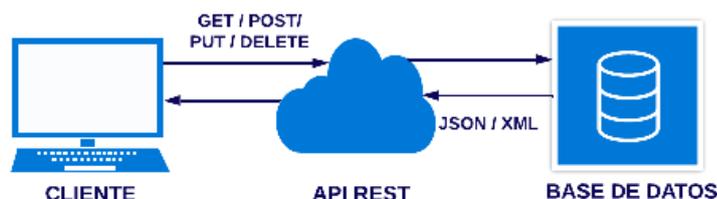


Figura. 4: API REST [6].

APRENDIZAJE DE MÁQUINA (ML)

El Aprendizaje de Máquina, o *Machine Learning* (ML), es una rama de la inteligencia artificial que se centra en desarrollar algoritmos y modelos que permiten a las computadoras aprender patrones a partir de datos y mejorar su rendimiento con el tiempo sin intervención humana explícita [15]. En lugar de seguir instrucciones programadas específicamente, los sistemas de aprendizaje automático pueden analizar datos, identificar patrones y realizar predicciones o tomar decisiones basadas en esos patrones [16].

El *Machine Learning* se utiliza en la monitorización de los SLA por varias razones:

1. Análisis de datos en tiempo real: puede analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, lo que es esencial para evaluar el cumplimiento de los SLA, que a menudo incluyen métricas y parámetros que deben cumplirse en un intervalo específico.
2. Detección de patrones y tendencias: pueden identificar patrones y tendencias en el rendimiento de los servicios, ayudando a anticipar posibles violaciones de los SLA antes de que ocurran.
3. Optimización de recursos: ayudar a optimizar la asignación de recursos para garantizar que se cumplan los compromisos establecidos en los SLA sin incurrir en costos innecesarios [15].
4. Predicción de problemas: Al anticipar posibles problemas de rendimiento, el ML puede contribuir a la identificación temprana de problemas potenciales que podrían afectar los SLA y permitir la toma de medidas correctivas antes de que se produzcan violaciones.
5. Adaptabilidad a cambios: Los entornos empresariales y tecnológicos son dinámicos, el ML puede adaptarse a cambios en las condiciones y requisitos de la red, ajustando sus modelos de manera continua para reflejar la evolución del entorno [16].

5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN Y MONITORIZACION

La propuesta de nuestro sistema, como se ilustra en la Figura 3, introduce una arquitectura avanzada que integra una API de monitorización y redireccionamiento con el controlador SDN *OpenDaylight*. Esta API sirve como la columna vertebral para la recopilación de métricas de extremo a extremo del tráfico, abarcando elementos cruciales como ancho de banda, latencia, *jitter* y pérdida de paquetes. Estas métricas se analizan en tiempo real comparándolas con plantillas predefinidas de SLA en formato JSON, organizadas según el tipo de aplicación o servicio.

En el caso de que se detecte o prediga un posible incumplimiento de SLA debido a la degradación de las métricas, el sistema responde de manera automática y dinámica al ajustar las rutas de los flujos afectados mediante el protocolo *OpenFlow*. Se prioriza la elección de rutas alternativas, dando preferencia a aquellas con menor latencia para optimizar la satisfacción de los niveles de servicio acordados.

Adicionalmente, implementamos algoritmos de *Machine Learning* para la predicción y reconocimiento de patrones de tráfico a lo largo del tiempo. Esta capacidad permite identificar posibles anomalías o tendencias que podrían desencadenar congestiones, permitiendo así la adopción de medidas proactivas antes de que se produzca un incumplimiento del SLA.

En el escenario donde se detecta una posible sobreasignación futura de recursos, el sistema tiene la capacidad de regular parámetros en el controlador SDN, como límites de flujos, con el objetivo de prevenir la congestión. En contraste, ante la predicción de sub-asignación, se exploran rutas alternativas con suficiente capacidad para redirigir flujos sin afectar el SLA establecido.

Con esta arquitectura integrada de monitorización, predicción y redireccionamiento predictivo de tráfico, nuestro sistema logra optimizar de manera proactiva el cumplimiento de los SLA en entornos de Redes Definidas por Software, adaptándose de manera dinámica a los cambios en las condiciones operativas. Este enfoque estratégico garantiza una gestión eficiente y anticipada de los recursos de red, ofreciendo una experiencia de servicio excepcional incluso en condiciones dinámicas y desafiantes.

6. POSIBLES RESULTADOS

La implementación de un sistema automatizado de gestión de recursos y monitorización SLA en redes SDN, mediante la aplicación de técnicas avanzadas de inteligencia artificial y *Machine Learning*, podría conllevar diversos beneficios:

1. Optimización dinámica del cumplimiento de los acuerdos de nivel de servicio (SLA) establecidos, adaptando enrutamiento y asignación de recursos según la demanda de los servicios solicitados por los usuarios de la red B5G/6G.
2. Al identificar y clasificar eficientemente los distintos tipos de servicios demandados, se lograría realizar una asignación más adecuada de los recursos disponibles en la red. Esto evitaría posibles violaciones de SLA y mejoraría la calidad de servicio y satisfacción del cliente.
3. El monitoreo en tiempo real del rendimiento de red y del tráfico cursado permitiría detectar y predecir con antelación posibles cuellos de botella o congestión mediante el uso de algoritmos de inteligencia artificial y *Machine Learning*. Esto facilitaría respuestas más rápidas y efectivas ante nuevas demandas de los usuarios, reduciendo además el tiempo de inactividad en la red.
4. La monitorización continua junto con las proyecciones sobre comportamientos futuros del tráfico posibilitaría ajustar proactivamente la provisión de recursos en la red para satisfacer de forma óptima los cambios en los patrones de demanda de servicios. Esto se traduciría en una mejora de la eficiencia de red.

El sistema planteado aplicando técnicas de vanguardia en AI/ML exhibe un potencial importante para mejorar la calidad de servicio, satisfacción de usuario, reducción de costos operativos y eficiencia en redes B5G/6G altamente dinámicas.

7. CONCLUSIONES

La gestión y monitorización dinámica de los SLA representa un gran reto en redes B5G/6G que deben soportar tráfico heterogéneo y creciente de aplicaciones críticas. Las capacidades de monitorización, programabilidad y automatización provistas por las SDN constituyen una oportunidad para abordar esta problemática.

En este artículo se ha presentado una propuesta para realizar gestión predictiva de SLA en SDN mediante monitorización en tiempo real, redireccionamiento dinámico basado en el estado de la red, análisis de patrones de tráfico y previsión de demanda futura con técnicas de ML.

Si bien los resultados dependerán de la posterior implementación y evaluación del sistema, el enfoque exhibe un potencial importante para optimizar SLA en SDN al poder adaptar proactivamente tanto rutas como recursos frente a variaciones en las condiciones de operación.

Como principal trabajo futuro se plantea desplegar un prototipo funcional del sistema propuesto para cuantificar en escenarios realistas los beneficios esperados en términos de mejora en el cumplimiento de SLA y calidad de servicio. En definitiva, a través de la combinación de monitorización inteligente, aprendizaje automático y programabilidad de SDN, esta propuesta introduce un nuevo enfoque con un atractivo potencial para mitigar los desafíos actuales en la provisión eficiente de SLA sobre tráfico de red dinámico y heterogéneo en redes B5G/6G.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) y a CONAHCYT por la beca otorgada al primer autor para estudiar el posgrado.

REFERENCIAS

- [1] N. Docomo, “White Paper 5G Evolution and 6G,” 2020. https://www.docomo.ne.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperEN_20200124.pdf
- [2] A. Jalalian, S. Yousefi, and T. Kunz, “Network slicing in virtualized 5G Core with VNF sharing,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 215, p. 103631, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.JNCA.2023.103631.
- [3] M. Touloupou, E. Kapassa, C. Symvoulidis, P. Stavrianos, and D. Kyriazis, “An Integrated SLA Management Framework in a 5G Environment,” in *2019 22nd Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks and Workshops (ICIN)*, 2019, pp. 233–235. doi: 10.1109/ICIN.2019.8685916.
- [4] R. Ramos-García, J. E. Preciado-Velasco, and J. E. Lozano-Risk, “Predicción del comportamiento de SLA en redes 5G utilizando inteligencia artificial,” CICESE, Ensenada, Baja California, 2021. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3656/1/tesis_Rubersy%20Ramos%20García_03%20dic%202021.pdf
- [5] J. Kosiński et al., “SLA monitoring and management framework for telecommunication services,” in *Proceedings - 4th International Conference on Networking and Services, ICNS 2008*, 2008, pp. 170–175. doi: 10.1109/ICNS.2008.31.
- [6] J. D. Gonzalez-Franco, J. E. Preciado-Velasco, and J. E. Lozano-Rizk, “Reconocimiento de patrones en métricas de tráfico para el cumplimiento de los SLA (Service Level Agreement) en entorno de redes B5G (Beyond 5G),” CICESE, Ensenada, Baja California, 2023. https://www.researchgate.net/publication/373447160_Reconocimiento_de_patrones_en_metricas_de_trafico_para_el_cumplimiento_de_los_SLA_Service_Level_Agreement_en_entorno_de_redes_B5G_Beyond_5G
- [7] S. Nadeem et al., “Runtime Management of Service Level Agreements through Proactive Resource Provisioning for a Cloud Environment,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 12, no. 2, Jan. 2023, doi: 10.3390/electronics12020296.
- [8] L. Mastroeni, A. Mazzoccoli, and M. Naldi, “Service level agreement violations in cloud storage: Insurance and compensation sustainability,” *Future Internet*, vol. 11, no. 7, 2019, doi: 10.3390/FI11070142.
- [9] E. Kapassa, M. Touloupou, P. Stavrianos, G. Xylouris, and D. Kyriazis, “Managing and Optimizing Quality of Service in 5G Environments Across the Complete SLA Lifecycle.” [Online]. Available: www.astesj.com
- [10] “Overview of the software-defined networking (SDN) | Download Scientific Diagram.” Accessed: Nov. 28, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Overview-of-the-software-defined-networking-SDN_fig2_267652113
- [11] “Heterogeneous SDN Controllers for Dynamic Environments with Different Network Requirements | Request PDF.” Accessed: Nov. 28, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/373948498_Heterogeneous_SDN_Controllers_for_Dynamic_Environments_With_Different_Network_Requirements
- [12] D. K. Ryait and M. Sharma, “Performance Evaluation of SDN Controllers,” *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 757 LNNS, pp. 1009–1021, 2023, doi: 10.1007/978-981-99-5166-6_68.
- [13] “(PDF) A Review Paper on Software Defined Networking.” Accessed: Nov. 28, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/319550243_A_Review_Paper_on_Software_Defined_Networking
- [14] “API recommendation system for software development | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore.” Accessed: Nov. 29, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7582836>
- [15] A. Pavani and A. Kathirvel, “Machine Learning and Deep Learning Algorithms for Network Data Analytics Function in 5G Cellular Networks,” *6th International Conference on Inventive Computation Technologies, ICICT 2023 - Proceedings*, pp. 28–33, 2023, doi: 10.1109/ICICT57646.2023.10134247.
- [16] M. Iavich, L. Mirtskhulava, G. Iashvili, and L. Globa, “5G Laboratory for Checking Machine Learning Algorithms,” *UkrMiCo 2021 - 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, Proceedings*, pp. 43–46, 2021, doi: 10.1109/UKRMICO52950.2021.9716712.

[17] V. P. Rekkas, S. Sotiroudis, P. Sarigiannidis, S. Wan, G. K. Karagiannidis, and S. K. Goudos, “Machine learning in beyond 5g/6g networks—state-of-the-art and future trends,” *Electronics* (Switzerland), vol. 10, no. 22. MDPI, Nov. 01, 2021. doi: 10.3390/electronics10222786.

SOBRE LOS AUTORES

Ing. Yenia Leyva Labrador nació en Pinar del Río, Cuba en 1986. Recibió su título universitario de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), en La Habana, Cuba, en 2013. Se desempeñó por 10 años como especialista en ETECSA (Empresa de Telecomunicaciones de Cuba). Actualmente se encuentra en desarrollo de su tesis de Maestría en Ciencias en Telecomunicaciones en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1240-5352>

Dr. Jorge Enrique Preciado Velazco (miembro senior de la IEEE y miembro de la ACM) nació en Ensenada, México. Recibió su grado de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la Universidad de Guadalajara en 1977, su grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE en 1983, y su grado de Doctor en Ciencias en Telecomunicaciones de la UABC en 2021. Ha sido en dos ocasiones presidente de la Junta Directiva de CUDI, CIO de la Universidad de Colima (2008–2012), México, y director de la División de Telemática en CICESE (1997–2005). Desde 1988, ha sido investigador en el Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE. Sus intereses de investigación incluyen la gestión de redes y servicios TIC, la nueva generación comunicaciones inalámbricas y QoS en redes. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4543-2301>

Dr. José Eleno Lozano Rizk recibió su título de Ingeniero en Computación de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC, Ensenada, México) en 2003. En 2007 recibió una Maestría en Ingeniería en Computación y, en 2019, recibió el título de Doctor en Ciencias de la UABC. Actualmente se desempeña como Jefe de Departamento de Cómputo del Centro de Investigación CICESE en la Dirección de Telemática. Sus intereses de investigación son el cómputo de alto rendimiento (HPC), el análisis de big data, los sistemas distribuidos, el Internet de las cosas (IoT) y las redes definidas por software (SDN). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6154-5712>

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores, con ninguna institución a la que cada uno está afiliado, ni con ninguna otra institución.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Autor 1:** 40 % conceptualización, creación y desarrollo del artículo.
- **Autor 2:** 30 % contribución a la idea y organización del artículo, desarrollo del artículo.
- **Autor 3:** 30 % revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo y aprobación de la versión final a publicar, conceptualización.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

