

## PREDICCIÓN DE VIOLACIONES EN LOS SLA EN REDES DE NUEVA GENERACIÓN: UNA PROPUESTA

Joan David González Franco<sup>1</sup>, Raúl Rivera Rodríguez<sup>2</sup>, Jorge Enrique Preciado Velasco<sup>3</sup>, José Lozano Rizk<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918  
Zona Playitas, CP 22860, Ensenada, B.C, México.

<sup>1</sup>e-mail: joandavid@cicese.edu.mx

<sup>2</sup>e-mail: rrivera@cicese.edu.mx

<sup>3</sup>e-mail: jprecia@cicese.edu.mx

<sup>4</sup>e-mail: jlozano@cicese.edu.mx

### RESUMEN

Hoy en día los usuarios demandan servicios y aplicaciones (realidad aumentada, virtual, cirugía remota, entre otros) cada vez más especializados, lo que incide en los últimos años en un rápido crecimiento y desarrollo de dispositivos inteligentes, sensores de Internet de las Cosas (IoT), entre otros. En consecuencia, los requerimientos de red se han vuelto más exigentes, críticos y de mayor dinamismo con el objetivo de lograr altas tasas de transferencias de datos, conectividad masiva, ultra bajas latencias, y alta confiabilidad. Las redes de nueva generación (5G/B5G) manejan una gran cantidad de parámetros que dificultan su gestión con el modelo tradicional. Aún es insuficiente con la ayuda e implementación de tecnologías como Redes Definidas por Software (SDN), Virtualización de Funciones de Red (NFV) y Segmentación de Red (NS), que mejoran considerablemente el desempeño de la red al enfocarla en servicios. En la relación cliente-proveedor de servicios de telecomunicaciones, este último debe cumplir con los Acuerdos a Nivel de Servicio (SLA) y contar con un mecanismo de gestión automatizada en todos los niveles. En este artículo se resumen las características principales de la red 5G, así como las tecnologías que la apoyan. Además, se expone una propuesta para lograr un esquema de gestión automatizada que permita una mejor repartición (aprovisionamiento) de los recursos en la red.

**PALABRAS CLAVES:** 5G, SLA, SDN, NFV, Segmentación de Red.

## PREDICTION OF SLA VIOLATIONS IN NEW GENERATION NETWORKS: A PROPOSAL

### ABSTRACT

Nowadays, users demand increasingly specialized services and applications (augmented reality, virtual reality, remote surgery, among others), which has affected the rapid growth and development such smart devices and Internet of Things sensors (IoT). Consequently, network requirements have become more demanding, critical, and dynamic to achieve high data transfer rates, massive connectivity, ultra-low latencies, and high reliability. New generation networks (5G/B5G) handle many parameters that make it difficult to manage with the traditional model. It is still insufficient with the help and implementation of technologies such as Software Defined Networks (SDN), Network Functions Virtualization (NFV), and Network Segmentation (NS), which considerably improve network performance by focusing on services. In the client-telecommunications service provider relationship, the latter must comply with the Service Level Agreements (SLA) and have an automated management mechanism at all levels. This article summarizes the 5G network's main characteristics and the technologies that support it. In addition, we present a proposal to achieve an automated management scheme that allows a better distribution (provisioning) of resources in the network.

**INDEX TERMS:** 5G, Network Slice, NFV, SDN, SLA.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones móviles han cambiado profundamente la vida cotidiana, y el deseo de las personas por una comunicación móvil de mayor rendimiento nunca termina [1]. Desde que empezó la 1ra Generación (1G) hasta la 4G, es una transición de aproximadamente 10 años. Sin embargo, se esperaba poner en práctica 5G en el año 2020, y

la verdad, aún está lejos de implementarse en su totalidad. 5G emerge para conocer demandas nuevas y sin precedentes más allá de la capacidad de los sistemas de generación previa. 5G penetra en cada elemento de la sociedad y se centra en un ecosistema de información centrado en el usuario [1].

El gran número de servicios y aplicaciones que han emergido en los últimos años han provocado que los proveedores de contenido de redes móviles de nueva generación aumenten drásticamente su capacidad para brindar estos servicios. Esto se debe en gran parte también al aumento del tráfico de datos, la cantidad de nuevos dispositivos y sensores de Internet de las Cosas (IoT, por las siglas del término en inglés, *Internet of Things*), ciudades inteligentes (*smart cities*), vehículos autónomos, la 4ta Revolución Industrial (4RI), por solo mencionar los más importantes. [2].

Esta cantidad de nuevos servicios y dispositivos requieren características distintas, pero a la vez, en algunos casos, muy semejantes. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por las siglas del término en inglés, *International Telecommunications Union*) planteó que con 5G hay tres casos de uso fundamentales: Banda Ancha Móvil Mejorada (*Enhanced Mobile Broadband*), Comunicaciones de ultra-baja Latencia y de Alta Confiabilidad (*Ultra-reliable and Low Latency Communication*), y Comunicación Masiva tipo Máquina-Máquina (*Massive Machine Type Communication*), (eMBB, urLLC, y mMTC, por las siglas de los términos en inglés respectivamente) [3]. En la Fig. 1 se puede ver una representación de estos casos de uso genéricos y algunos servicios 5G. Además, se ve como hay servicios que tienen características propias de un solo caso de uso (vehículos autónomos por ejemplo, urLLC) y a su vez, algunos presentan características de dos, como es el caso de realidad aumentada (eMBB y urLLC).

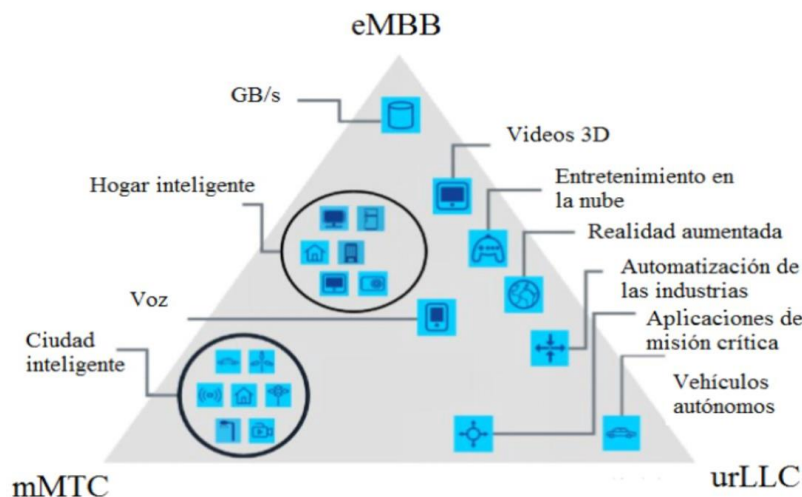


Figura 1: Ejemplos de servicios 5G y sus casos de uso genéricos [3].

Precisamente que los servicios presenten características semejantes hace difícil su identificación y dificulta saber cuáles son los recursos necesarios por asignar. En la figura 2 [4] se puede comprobar la heterogeneidad que presentan algunos de estos servicios. Se observa que cuando los requerimientos de red se hacen más exigentes, es más difícil la clasificación de servicios. En la figura 3 se observa el mismo gráfico teniendo en cuenta una tercera dimensión, esta vez se agrega la tasa de bits (*bit rate*). En el mapa de dispersión se ratifica que cuando los requerimientos de red se hacen más exigentes, es más difícil clasificar o identificar el servicio que corresponde.

Estos requerimientos hacen aún más rígido analizar los servicios y los tráfico a través de la red para, y una vez identificados, poder tomar acciones que lleven a un mejor aprovisionamiento de los recursos por parte del proveedor de servicios. En consecuencia, con el conocimiento pleno de los servicios que circulan por la red, se posibilita el establecimiento y posterior cumplimiento de los Acuerdos a Nivel de Servicio (SLA, por las siglas del término en inglés, *Service Level Agreement*) entre el proveedor y el cliente [4]. En esta parte es fundamental el empleo de técnicas de Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático (AI y ML, por las siglas de los términos en inglés respectivamente, *Artificial Intelligence* y *Machine Learning*), para reconocer parámetros y ayudar a mejorar la gestión de la red.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 brinda las características de las arquitecturas de las redes móviles de la actualidad (4G) y la comparación con 5G. En la sección 3 se explica la propuesta para lograr una gestión automatizada con el objetivo de evitar la violación de los SLA y la sobreasignación de recursos de red. Finalmente, en la sección 4 se dan las conclusiones y recomendaciones futuras de este trabajo.

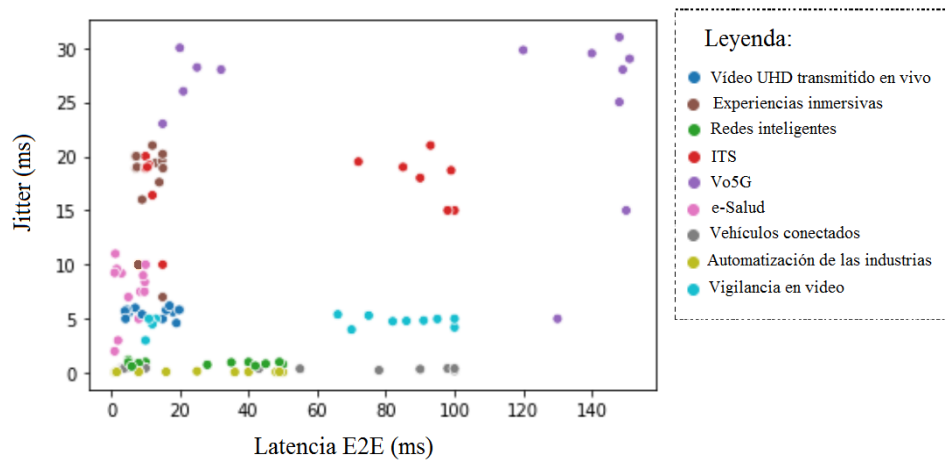


Figura 2: Distribución de algunos servicios 5G [4].

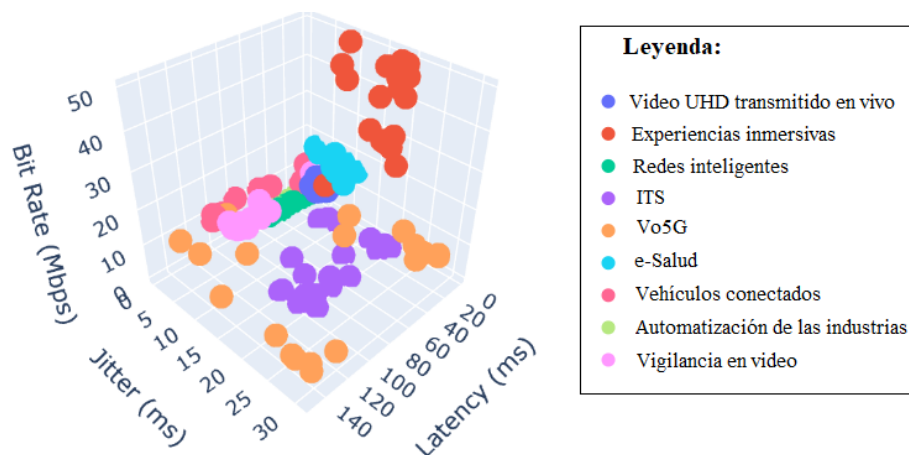


Figura 3: Distribución de algunos servicios 5G en 3D.

## 2. ARQUITECTURAS DE LAS REDES MÓVILES

### Red 4G

La arquitectura de la red 4G tiene un estilo que se conoce como “*one size fit all*”, es decir, todos los servicios son tratados de manera similar por la Red de Acceso de Radio (RAN, por las siglas del término en inglés, *Radio Access Network*) y luego transmitidos a la red central o al núcleo de red (*core network*) [5]. En la figura 4 se muestra la arquitectura de esta red móvil.

Se puede inferir que esta red hace un aprovechamiento ineficiente de sus recursos, ya que no hace diferencia en cómo tratar cada servicio en particular. Esto ocasiona que se tengan problemas de conexión, velocidad, y una mala Calidad de Servicio (QoS, por las siglas del término en inglés, *Quality of Service*), por tanto, se contribuye a una mala Calidad de Experiencia (QoE, por las siglas del término en inglés, *Quality of Experience*) para los usuarios [5].

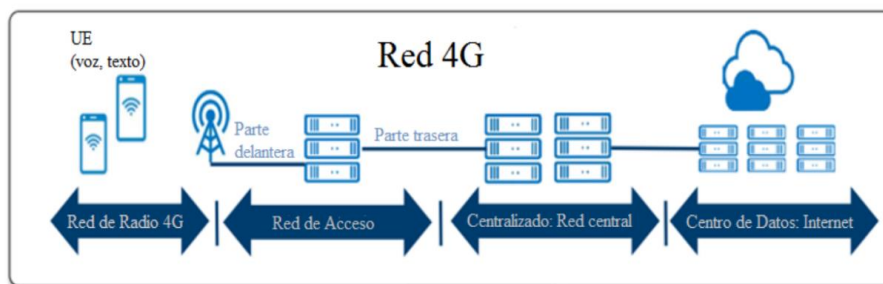


Figura 4: Arquitectura de la red 4G [5].

## Red 5G

Por el contrario, 5G se auxilia de tecnologías emergidas como Redes Definidas por Software, Virtualización de Funciones de Red (SDN y NFV, por las siglas de los términos en inglés, *Software Defined Networks* y *Network Function Virtualization*; respectivamente) y Segmentación de Red (NS, por las siglas del término en inglés, *Network Slicing*) [6]. Estas tecnologías permiten, además de mejorar la escalabilidad, flexibilidad y dinamismo de la red, la optimización de servicios en particular, y reducir así riesgos y costos.

SDN separa el plano de control (*software*) y el plano de datos (*hardware*), y lógicamente centraliza la inteligencia de la red en el controlador. El controlador centralizado permite al operador de red dirigir el tráfico de datos durante el tiempo de ejecución, y permite la automatización de tareas como la de configuración y la gestión de políticas [6]. NFV se aleja del principio del *hardware* exclusivo dedicado para funciones de red al aprovechar la tecnología de virtualización y desacopla la función de red (por ejemplo, puertas de enlace o cortafuegos) del *hardware*, lo que permite implementar dichas funciones de red en servidores, conmutadores y almacenamiento estándar de alta capacidad [6].

Hoy en día se habla de segmentos de red muy específicos a un servicio solicitado, y estos deben cumplir todo el ciclo de vida del SLA inherente a ese servicio. Para garantizar este cumplimiento y no ocurran violaciones de los SLA se debe hacer una gestión de extremo a extremo [7]. Debido a que 5G tiene un enfoque a servicios sigue lo que se conoce como Arquitectura Basada en Servicios (SBA, por las siglas del término en inglés, *Service Based Architecture*). En la figura 5 se observa el modelo de SBA propuesto por el Proyecto de Asociación de 3ra Generación (3GPP, por las siglas del término en inglés, *Third Generation Partnership Project*) [8], donde la selección de los *network slices* se basa en la NFV y el tipo de servicio que se solicita por parte de un usuario. Se puede distinguir en la figura 5, que la SBA está compuesta por un conjunto de funciones de red (virtuales) que se encargan de administrar el plano de usuario y de control.

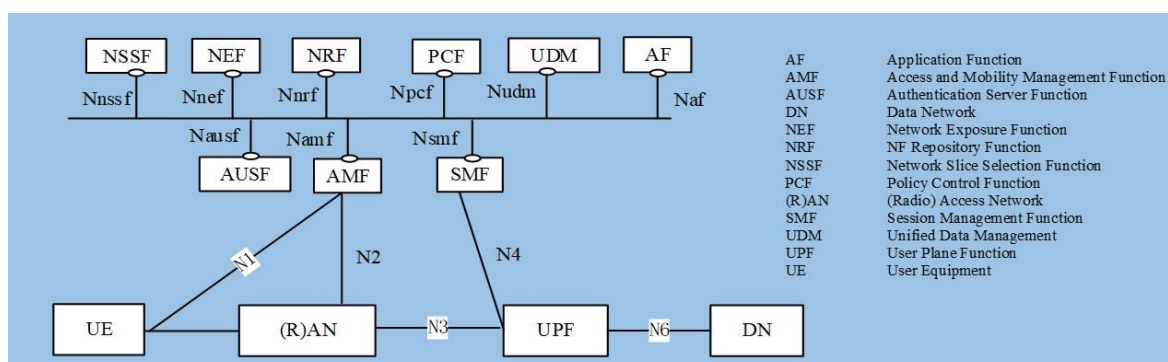


Figura 5: SBA de la red 5G [8].

## 3. PROPUESTA

Las premisas para llegar a un mejor aprovisionamiento de los recursos en redes 5G/6G es conocer la relación entre los patrones de servicios y de red, lo que implica un análisis profundo de los parámetros de los servicios y sus tráficos;

ya que estos requerimientos demandan mayores recursos de red. Como se mencionó, la gran cantidad de usuarios solicitando servicios y el dinamismo de éstos, generan una gran cantidad de información, lo que hace que el modelo de gestión tradicional sea insuficiente.

La violación de los SLA requiere de mecanismos de gestión automatizada de redes de nueva generación que intervengan para prevenir la sobreasignación o sub-asignación de recursos de red. Muchos trabajos han propuesto esquemas para detectar violaciones de los SLA mediante algoritmos de ML. En [9] se propone un algoritmo que utiliza redes neuronales para detectar violaciones de los SLA utilizando el parámetro del *throughput* para ello. En [10] se propone un clasificador de servicios 5G/B5G que utiliza técnicas de ML y se basa tanto en los Indicadores Claves de Rendimiento como de Calidad (KPI y KQI, por las siglas de los términos en inglés respectivamente, *Key Performance Indicators* y *Key Quality Indicators*). En [11] se brinda un sistema para la gestión en redes no comerciales de los SLA enfocado en los KPI también.

Sin embargo, también se debe tener un mecanismo que priorice los recursos de red al asignarlos al usuario. En la figura 6, se propone un sistema general que sea capaz de realizar una gestión automatizada para evitar, tanto la violación de los SLA, como la mala asignación de recursos de red.

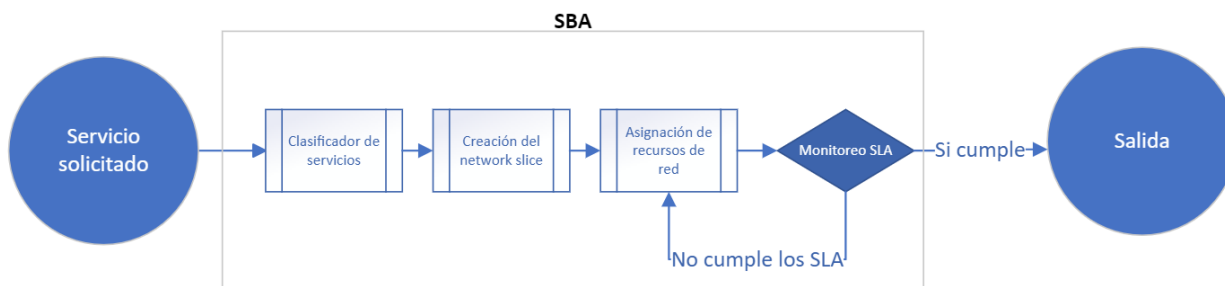


Figura 6: Esquema del sistema propuesto.

La entrada del sistema es un clasificador de servicios, que emplea técnicas de AI y ML en la identificación de éstos, lo cual permitirá al operador de red identificar prácticamente en tiempo real el servicio solicitado por el usuario. Posterior a la clasificación, se debe crear un formato (*template*) con los parámetros inherentes de QoS/QoE para luego asignarlos a un segmento de red (*network slice*). El *template* puede ser un archivo .txt o .cvs que contenga valores de latencia, *jitter*, *throughput*, entre otros KPI/KQI. El *network slice* es virtual, sin embargo se sustenta en enlaces físicos; por lo habrá que considerar tanto la topología de la red, como las políticas de enrutamiento y redireccionamiento del tráfico. Se aplica la filosofía de funcionamiento de SDN en conjunto con las NFV de la arquitectura SBA para la implementación de estas funciones.

En la creación del *network slice*, se deben asignar los recursos suficientes a los enlaces físicos que conforman la red, para que el servicio solicitado por el usuario funcione correctamente y cumplir con el SLA signado. Sin embargo, esta asignación de recursos puede variar con respecto al tiempo (debido al dinamismo de su funcionamiento), por lo que se debe realizar un monitoreo de extremo a extremo para evaluar el comportamiento del SLA con enfoque en la posible ocurrencia de violaciones. Es crucial que el monitoreo implique también el uso de herramientas computacionales de AI y ML para lograr una gestión automatizada y en consecuencia, tratar de mejorar la QoE y satisfacción del cliente.

En la actualidad, no se cuentan con equipos suficientes desplegados para la puesta en marcha de un sistema como el propuesto. Por lo tanto, se hace necesario el empleo de herramientas de simulación para implementar y validar la operación este tipo de propuestas. Para una etapa futura, se va a crear una topología de red teniendo en cuenta la SBA de 5G, así como un controlador de SDN que se encargará de la asignación de recursos de red una vez clasificados los servicios y el monitoreo de los SLA correspondiente a cada *network slice*.

## Posibles Resultados

La implementación de un sistema de gestión automatizada basado en AI/ML para el aprovisionamiento de recursos en redes 5G/6G puede tener varios resultados beneficiosos. En primer lugar, al identificar y clasificar los servicios solicitados por los usuarios de manera eficiente, se puede asignar los recursos de red de manera más adecuada y evitar

violaciones de los SLA. Esto puede llevar a una mejora en la satisfacción del cliente y una reducción en los costos de operación.

Además, al utilizar herramientas computacionales de AI y ML para monitorear y gestionar el rendimiento de la red, se pueden identificar posibles cuellos de botella o problemas de congestión antes de que se produzcan. Esto permite una respuesta más rápida y eficaz a las demandas de los usuarios y una reducción en el tiempo de inactividad de la red.

Otro posible resultado es la capacidad de adaptarse a cambios en la demanda de servicios y patrones de tráfico. Al monitorear y analizar el rendimiento de la red en tiempo real, se pueden ajustar los recursos de manera oportuna y eficiente para satisfacer las demandas cambiantes del mercado y los usuarios.

En general, la implementación de un sistema de gestión automatizada basado en AI/ML para el aprovisionamiento de recursos en redes 5G/6G tiene el potencial de mejorar significativamente la calidad de los servicios y la satisfacción del cliente, al mismo tiempo que reduce los costos de operación y mejora la eficiencia de la red.

#### 4. CONCLUSIONES

Aunque la red 5G presenta un carácter novedoso, la verdad es que encuentra un poco alejada de su total implementación, sin embargo, existen muchos simuladores que pueden ayudar a entender el comportamiento y predicción de esta. Por lo que para hacer suposiciones sobre esta red, la simulación juega un papel fundamental en estos momentos y puede brindar resultados muy positivos de cara al futuro.

La gran cantidad de parámetros y la heterogeneidad de los servicios que manejan las redes de nueva generación hacen que el modelo de gestión actual sea insuficiente. Por lo que se requieren de técnicas de AI, ML, SDN, NFV para un mejor soporte de la infraestructura de la red y una mejor QoS/QoE. Esto se refleja en el establecimiento de la NS con características muy específicas acorde a los servicios solicitados que cumplan con los SLA de extremo a extremo y durante todo el ciclo de vida de este. Un buen mecanismo de gestión automatizada conlleva a evitar violaciones de los SLA y a una mala asignación de recursos de red por parte del proveedor.

En este artículo se propuso a manera general, un esquema para permitir una gestión automatizada por parte del operador de red, y con ello evitar la violación de los SLA, así como el mal aprovisionamiento de los recursos de red. Asimismo, realizar escenarios de pruebas e implementación en simuladores, con el enfoque de mejorar tanto la QoS de la red como la QoE del usuario al solicitar un servicio al proveedor.

En trabajos futuros se tiene previsto crear escenarios de simulación donde se implemente el modelo propuesto con parámetros de QoS/QoE. Se piensa implementar el clasificador de servicios propuesto en [10] y el algoritmo para detectar las violaciones de los SLA en [9].

#### RECONOCIMIENTOS

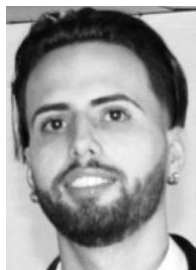
Los autores desean agradecer al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), a la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), y a los revisores anónimos de esta revista por los consejos brindados para la publicación de este artículo.

#### REFERENCIAS

- [1] J. D. Gonzalez Franco, "Propuesta de un sistema clasificador de servicios para la gestión de redes 5G con la utilización de aprendizaje automático", Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, 2020. Accedido el 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21765.68326>
- [2] M. Ikram, K. Sultan, M. F. Lateef y A. S. M. Alqadami, "A road towards 6G communication—a review of 5G antennas, arrays, and wearable devices", *Electronics*, vol. 11, n.º 1, p. 169, enero de 2022. Accedido el 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/electronics11010169>

- [3] ITU-R M.2083-0, "IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," 2015. [En línea]. Disponible: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf).
- [4] J. E. Preciado Velasco, "Sistema clasificador de servicios 5g/b5g soportado por técnicas de machine learning", Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Ensenada, 2021. Accedido el 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/handle/20.500.12930/9108>
- [5] 5gAmericas, "Network Slicing for 5G Networks & Services", 2016. [En línea]. Disponible: [http://www.5gamericas.org/files/3214/7975/0104/5G\\_Americas\\_Network\\_Slicing\\_1.1.21\\_Final.pdf](http://www.5gamericas.org/files/3214/7975/0104/5G_Americas_Network_Slicing_1.1.21_Final.pdf).
- [6] M. R. Sama, S. Beker, W. Kiess, and S. Thakolsri, "Service-based slice selection function for 5G," in 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2016, doi: 10.1109/GLOCOM.2016.7842265.
- [7] E. Kapass, M. Touloupou, P. Stavrianos, G. Xylouris y D. Kyriazis, "Managing and optimizing quality of service in 5G environments across the complete SLA lifecycle", *Advances Science, Technol. Eng. Syst. J.*, vol. 4, n.º 1, pp. 329–342, 2019. Accedido el 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.25046/aj040132>
- [8] T. Specification and G. 3GPP Services, "3Gpp TS 23.501 System Architecture for the 5G System", Valbonne, France, 2019. [En línea]. Disponible: <http://www.3gpp.org>.
- [9] R. Ramos García, "Predicción del comportamiento de SLA en redes 5G utilizando inteligencia artificial", Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), B.C, Ensenada, 2021. Accedido el 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3656>.
- [10] J. E. Preciado-Velasco, J. D. Gonzalez-Franco, C. E. Anias-Calderon, J. I. Nieto-Hipolito y R. Rivera-Rodriguez, "5G/B5G service classification using supervised learning", *Appl. Sci.*, vol. 11, n.º 11, p. 4942, mayo de 2021. Accedido el 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/app11114942>.
- [11] G. Cabrera Gafas y C. Anias Calderón, "Sistema para la gestión en redes no comerciales de los SLA en la etapa de ejecución", *SciELO Analytics*, vol. 37, n.º 2, 2016. Accedido el 11 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282016000200004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282016000200004)

## SOBRE LOS AUTORES



**Joan David González Franco** nació en La Habana, Cuba en 1996. 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 2020. 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). Su principal área de interés es la aplicación de Inteligencia Artificial en las telecomunicaciones y la computación en la nube. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0770-6869>



**Raúl Rivera Rodríguez** nació en Mochis, México, en 1971, recibió su título de licenciatura en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, México, en 1994, y el título de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones del Centro de Investigaciones CICESE, Ensenada, México, en 1997. Recibió su Ph.D. de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México, en 2010. Ha contribuido al despliegue de la Red Nacional de Investigación y Educación Infraestructura en México, como presidente del Comité de Redes de CUDI (NREN en México). Actualmente es el director de la División de Telemática del Centro de Investigación CICESE. su investigación sus intereses incluyen sistemas de administración de redes, QoS en redes IP, procesamiento de señales para redes inalámbricas comunicaciones, ciberseguridad, computación en la nube, diseño de capas cruzadas y teoría de la codificación. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1968-8525>



**Jorge Enrique Preciado Velasco** (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>



**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 del 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:** 25%, conceptualización, creación y desarrollo del artículo.
- **Autor 2:** 25%, contribución a la idea y organización del artículo, desarrollo del artículo.
- **Autor 3:** 25%, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo y aprobación de la versión final a publicar, conceptualización.
- **Autor 4:** 25%, conceptualización, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final.

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.

