

Systematic review for the implementation of artificial intelligence in the optimization of 5G technology

Piero Raúl Mochcco Atauje ¹, Jeancarlos Daniel Jurado Tataje ², Luis Junior Tirado Castro ³ y Arnold Anthony Huamán Aguirre ⁴

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20234589@utp.edu.pe

²Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19206664@utp.edu.pe

³Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c22464@utp.edu.pe

⁴Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c19532@utp.edu.pe

Abstract– 5G technology is leading the next digital revolution, enhancing applications like virtual reality and the Internet of Things (IoT). However, its high demands for performance and low latency present significant challenges. This systematic review explores how artificial intelligence (AI) can optimize 5G technology, improving resource allocation and enabling autonomous network management. Using the PICOC methodology, the research question was formulated, focusing on the implementation of AI tools for 5G optimization. Inclusion and exclusion criteria were applied to select relevant studies, with PRISMA methodology used for article screening. Results show that AI, particularly machine learning and deep learning, significantly enhances 5G network performance and management, outperforming traditional methods in anomaly detection and resource optimization. In conclusion, AI is crucial for maximizing 5G technology's potential, emphasizing the need for ongoing research and development of AI-based methodologies.

Keywords– 5G; artificial intelligence; optimization; methods; techniques; technologies.

Revisión sistemática para la implementación de inteligencia artificial en la optimización de la tecnología 5G

Piero Raúl Mochcco Atauje ¹, Jeancarlos Daniel Jurado Tataje ², Luis Junior Tirado Castro ³ y Arnold Anthony Huamán Aguirre ⁴

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20234589@utp.edu.pe

²Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19206664@utp.edu.pe

³Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c22464@utp.edu.pe

⁴Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c19532@utp.edu.pe

Resumen– La tecnología 5G está liderando la próxima revolución digital, mejorando aplicaciones como la realidad virtual y el Internet de las cosas (IoT). Sin embargo, sus altas exigencias de rendimiento y baja latencia presentan desafíos importantes. Esta revisión sistemática explora cómo la inteligencia artificial (IA) puede optimizar, mejorar la asignación de recursos y permitir la gestión autónoma de la red 5G. Utilizando la metodología PICOC se formuló la pregunta de investigación, enfocándose en la implementación de herramientas de IA para la optimización 5G. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar estudios relevantes, y se utilizó la metodología PRISMA para la selección de artículos.

Los resultados muestran que la IA, en particular el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, mejora significativamente el rendimiento y la gestión de la red 5G, superando a los métodos tradicionales en la detección de anomalías y la optimización de recursos. En conclusión, la IA es crucial para maximizar el potencial de la tecnología 5G, lo que enfatiza la necesidad de investigación y desarrollo continuos de las metodologías basadas en IA.

Keywords– 5G; inteligencia artificial; optimización; métodos; técnicas; tecnologías

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se observó un aumento constante en la tecnología y su uso en diversas áreas; así, la tecnología 5G está en el centro de la próxima revolución digital. Por ello, el avance en los sistemas de comunicación de quinta generación ofrece varios beneficios para las diversas aplicaciones, tecnologías y áreas existentes, tales como realidad virtual basada en la nube, internet de las cosas (IoT), etc [1].

También surgen diferentes enfoques y métodos para afrontar los desafíos en términos de optimización y rendimiento [1]. Por ejemplo, el enfoque de Digital Twin, que es una representación virtual de sistemas que reduce la necesidad de pruebas físicas extensas y facilita la evaluación de múltiples escenarios [2].

Además, la tecnología 5G ofrece importantes avances informáticos, pero también cuenta con múltiples problemas que se observan en su uso habitual, ya que demanda un alto rendimiento debido a la baja latencia y la densa conexión que logra. De este modo, preocupa más el hecho de que esta tecnología no sea lo suficientemente eficaz para la alta

demanda de usuarios. Por ello, se necesita una actualización de la red con la capacidad de implementar servicios autónomos y más flexibles para diversos casos de uso [3].

Por tanto, se reconoce que la inteligencia artificial es fundamental para mejorar esta nueva tecnología [4]. Por consiguiente, al incorporar la inteligencia artificial a su integración, se puede mejorar la eficiencia en el uso de recursos. Esto facilitará la implementación eficaz de sistemas autónomos para gestionar estas asignaciones de recursos y realizar ajustes dinámicos de manera eficiente [5].

En ese contexto, se espera que la IA desempeñe un papel fundamental en la creación de metodologías y técnicas efectivas. Por lo tanto, se necesita desarrollar una nueva RSL porque la combinación de la 5G y la inteligencia artificial para optimizar las redes es un tema cada vez más relevante y estudiado. Esto permitirá comparar los enfoques actuales de su uso en el mantenimiento de redes 5G y ayudará a determinar la efectividad de diversos métodos y tecnologías.

. II. METODOLOGÍA

A. Metodología PICOC

Se utilizaron los principios PICOC: Población / Problema, Intervención, Comparación, Resultados y Contexto, para formular la pregunta de investigación y definir las características de los estudios incluidos (Figura1). Primero, en el principio del problema, se identifica la cuestión principal de la investigación, en nuestro trabajo es representada como la tecnología 5G. A continuación, en el principio de intervención, se detalla las formas de abordar el problema mencionado anteriormente, referido en este estudio a las herramientas de inteligencia artificial. Luego, el principio de comparación debe proporcionar métodos para cuantificar y evaluar cómo funcionara el sistema con la intervención implementada. Con ese propósito, se evalúan distintos métodos o enfoques de optimización y el rendimiento de la tecnología 5G después de la implementación de técnicas de inteligencia artificial. Luego, para el resultado se describe el efecto esperado de la intervención, que es una red 5G más eficiente y de alto rendimiento que soporte mejor las demandas de las tecnologías de transformación digital. Finalmente, la última sección es el contexto, que define los

límites del problema. En este RSL, el contexto se limita a las aplicaciones de la tecnología 5G en el ámbito de la tecnología digital.

TABLA I
PICOC

P	Las tecnologías 5G
I	Herramientas de la inteligencia artificial
C	Diferentes enfoques o métodos de optimización
O	Optimización de la tecnología 5G

Buscamos información científica que responda a las siguientes preguntas:
 RQ: ¿Cómo las herramientas de la inteligencia artificial se utilizan para la optimización de las redes 5G en el área digital?
 RQ1: ¿Cuál es la importancia de la tecnología 5G?
 RQ2: ¿Qué herramientas de inteligencia artificial se han implementado?
 RQ3: ¿Cuál ha sido su efectividad en comparación con otros métodos de optimización?
 RQ4: ¿Cuál ha sido el nivel de optimización alcanzado mediante el uso de estas herramientas?

Para la búsqueda de información determinamos las palabras claves adecuadas en inglés. Luego, construimos una ecuación de búsqueda para cada componente del PICOC y los relacionamos mediante el operador booleano OR.

TABLA II
SINTAXIS DE BÚSQUEDA PARA EL MARCO PICOC

P	Problema / Población	5g OR "5th generation wireless" OR "Cellular technology" OR "5th generation mobile" OR "cellular networks"
I	Intervención	tools OR "artificial intelligence" OR learning OR estimation OR "prediction method"
C	Comparación	methods OR algorithms OR approaches OR "design methodology" OR techniques
O	Resultados	optimization OR "performance optimization"
C	Contexto	"digital transformation" OR technologies

B. Criterios de inclusión y exclusion

TABLA III
CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Criterio	Justificación
Relevancia temática	Los estudios seleccionados deben centrarse en temas relacionados con la tecnología 5G
Implementación de inteligencia artificial	Los estudios deben implementar herramientas de

	inteligencia artificial.
Reporte de optimización con IA	Los estudios deben reportar el nivel de optimización alcanzado con herramientas de la IA.

TABLA IV
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Criterio	Justificación
Áreas y objetivos distintos	Estudios con áreas y objetivos distintos al propuesto.
Estado del artículo	Estudios en estado no finalizado.
Exclusión de resultados de optimización	Estudios que no incluyen niveles de optimización obtenidos dentro de sus resultados.

C. Prisma

La declaración PRISMA, se diseñó para ayudar a los revisores sistemáticos a informar de manera clara sobre la razón de la revisión, las acciones realizadas por los autores y los resultados obtenidos. A lo largo de la última década, las metodologías y terminologías en las revisiones sistemáticas han evolucionado e incorpora nuevas directrices para reflejar estos avances [7].

Luego de reconocer los criterios de exclusión e inclusión, se utilizó la metodología PRISMA para el cribado de los artículos seleccionados de la base de datos Scopus, debido a su alta información de relevancia para el campo que se investigó. Se obtuvo un resultado total de 179 artículos que tuvieron alguna similitud al modelo de estudio planteado, de los cuales se excluyeron 49 registros por no tener relación al objetivo propuesto y 58 por no estar en inglés, así como por no ser publicados entre el año 2020 hacia la actualidad como primer criterio de exclusión implícita. Posteriormente, en el segundo cribado, se recogieron 72 registros, donde se retiraron un total de 15 por ser de otros campos de estudios, resultando un total de 57 registros.

En el tercer filtrado, se identificaron 57 registros potencialmente recuperables; sin embargo, 14 de ellos no estaban disponibles en texto completo por diversas razones. Luego, con los 43 estudios restantes, se excluyeron 23 registros adicionales basándose en los criterios de exclusión previamente mencionados. Finalmente, se seleccionaron 20 materiales de estudio para su uso en nuestra investigación.

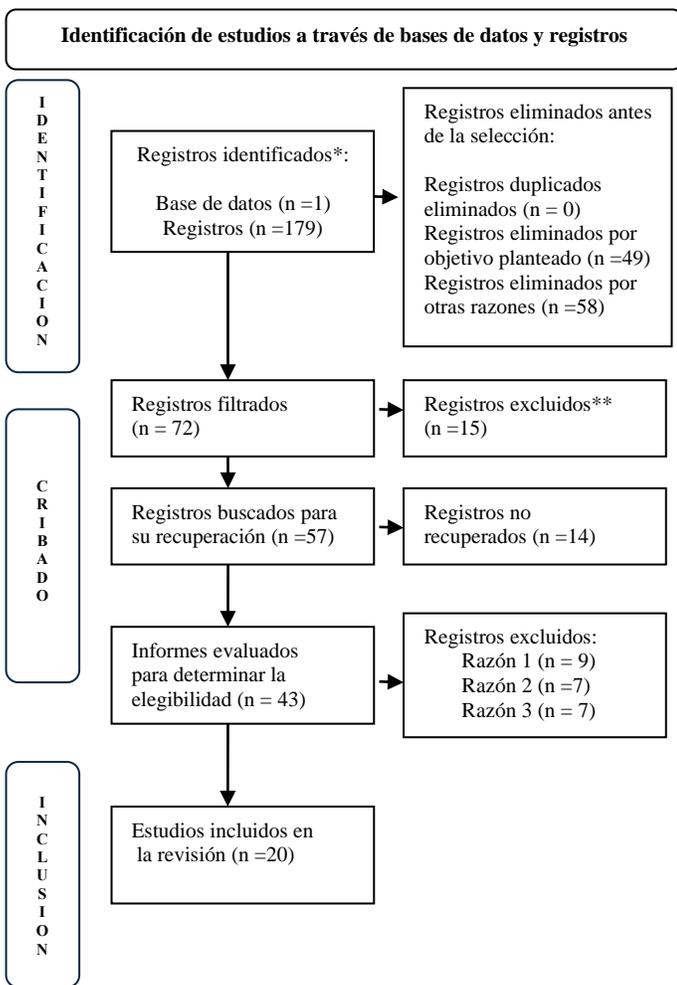


Fig. 1 Diagrama de Prisma

III. RESULTADOS

En esta sección, responderemos las preguntas de investigación PICOC según los 20 artículos seleccionados:

A. Importancia de la tecnología 5G (RQ1)

TABLA V
PREGUNTAS RELACIONADAS A LA RQ1

Preguntas	Contribuciones
RQ1.1 ¿Qué es la tecnología 5G?	Es la tecnología que admite y soporta un conjunto diverso de nuevas aplicaciones y servicios [8,9].
RQ1.2 ¿Cuál es el impacto de la tecnología 5G en la conectividad a la red?	Las tecnologías 5G poseen un alto impacto en la conectividad de la red debido a sus diversos beneficios y capacidad de satisfacer las diferentes necesidades de las

	tecnologías novedosas [10-16].
RQ1.3 ¿Cuáles son los beneficios que brinda la tecnología 5G?	Ofrece un rendimiento significativo, conexión masiva, baja latencia, mayor velocidad, fiabilidad de la comunicación y calidad de servicio [10,11,17,18].
RQ1.4 ¿Qué oportunidades presenta 5G para la mejora de las tecnologías digitales?	Presenta una serie de oportunidades. Por ejemplo, para la realidad virtual y aumentada les brinda alta velocidad y baja latencia para ofrecer experiencias más inmersivas [12].

Según el análisis, las principales razones por las cuales se considera relevante la tecnología 5G son su rol de soporte para nuevas aplicaciones, las oportunidades que brinda y sus diversos beneficios. Samidi et al. [11] menciona que la 5G es una pieza clave y líder en la infraestructura del sector de tecnología de la información y las comunicaciones. Esto es porque respalda una gran variedad de servicios futuros, cada uno con sus propios requisitos y necesidades específicas.

Otros estudios muestran los beneficios generales que ofrece la tecnología 5G y las oportunidades que surgen con la adopción del 5G. Khan et al [17] detalla los diversos beneficios de la tecnología 5G tales como mayor velocidad de transmisión de datos, menor latencia, una mayor capacidad de dispositivos conectados, aumenta tanto la eficiencia energética como la eficiencia en el uso del espectro de comunicación en conexiones de dispositivo a dispositivo.

Si bien los beneficios y las oportunidades son importantes, el soporte de nuevas aplicaciones es la razón más destacada en los estudios recientes, lo que sugiere una tendencia hacia la innovación y la expansión de la tecnología 5G. Además, se observa que los estudios son relativamente recientes, lo que indica un interés académico y científico continuo en la evolución y el impacto de la tecnología 5G (Ver figura 2).

IMPORTANCIA DE LA TECNOLOGÍA 5G



Fig. 2 Gráfico de razones de la importancia de la 5G

B. Herramientas de la inteligencia artificial (RQ2)

TABLA VI
PREGUNTAS RELACIONADAS A LA RQ2

Preguntas	Contribuciones
RQ2.1 ¿Cuáles son las principales herramientas de inteligencia artificial?	Las principales herramientas de la inteligencia artificial son el aprendizaje automático y aprendizaje profundo [19-21].
RQ2.2 ¿Qué herramientas de IA se utilizan para la optimización de la red 5G?	Se utilizan las metodologías de aprendizaje supervisado y no supervisado, así como, aprendizaje automático y aprendizaje por refuerzo [22-24].
RQ2.3 ¿Cómo se emplea la IA para mejorar la eficiencia de las redes 5G?	Se emplea para una gestión más eficiente y autónoma de la infraestructura de la red 5G, soluciones autónomas para la optimización de la red y modelado de tráfico [25].

Utilización



Fig. 3 Gráfica de las herramientas IA más utilizadas

C. Efectividad de las herramientas de la inteligencia artificial (RQ3)

TABLA VII
PREGUNTAS RELACIONADAS A LA RQ3

Preguntas	Contribuciones
RQ3.1 ¿Qué ventajas ofrece la IA sobre los métodos tradicionales a la red 5G?	Estos métodos pueden ayudar a optimizar el uso de recursos y la gestión del tráfico de manera más efectiva que los métodos tradicionales [26].
RQ3.2 ¿Cómo se comparan los resultados de la optimización basada en IA con los métodos tradicionales?	Mediante muestra aleatoria, gráficos de comparación y simulación, [20].
RQ3.3 ¿Cuál es la capacidad de la IA para predecir y mitigar fallos en la red 5G en comparación con otros métodos?	La investigación destacó la capacidad de la IA para detectar anomalías en el tráfico de red de IoT, lo que es crucial para aplicaciones en ciudades inteligentes del future [19].
RQ3.4 ¿Qué estudios o casos de uso demuestran la efectividad de la IA en la optimización de redes 5G?	Se muestran varios estudios que demuestran su efectividad. Por ejemplo, la investigación sobre el uso del aprendizaje por refuerzo para atender la red habilitada para SDN [15].

Según el análisis, las herramientas de la inteligencia artificial más usadas para la optimización de las redes 5G son el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo.

Principalmente, el aprendizaje automático utilizado para la optimización de energía, gestión del espectro y predicción y detección de ataques [23]. Asimismo, Mughees et al. [26] señalan la optimización de parámetros, gestión del tráfico y apagado de celdas empleando el aprendizaje automático.

Del mismo modo, el aprendizaje profundo no es menos importante para la optimización de la tecnología 5G ya que aplican redes neuronales y predicen resultado o generan otros. Toding et al. [10] indica el uso del aprendizaje profundo y la técnica de redes neuronales convolucionales profundas para la recopilación de datos precisa, minimizar pérdidas y el retraso de un extremo a otro. Incluso, se emplean para desarrollar un método de optimización de redes y simulaciones para obtener una solución rápida y eficaz en entornos de Big Data y Extreme Computing [20].

Otros estudios muestran la utilidad de aprendizaje por refuerzo, supervisado y no supervisado. Por ejemplo, el uso del aprendizaje por refuerzo y su técnica Q-learning para la programación del tráfico en la red TSN-5G [16]. También, el uso del aprendizaje no supervisado a la decodificación polar para el procesamiento en banda base [17] (Ver figura 3).

Según el análisis, se evaluó la cantidad de artículos para evaluar la eficiencia de las herramientas IA más utilizadas en la optimización en términos a las mejoras que realizaron, tales como mayor rendimiento, adaptabilidad, mayor velocidad, menor complejidad, precisión e interoperabilidad.

En el campo del aprendizaje profundo, se ha demostrado que es la herramienta más eficaz para optimizar el rendimiento y reducir la complejidad de la tecnología 5G, según la cantidad de artículos que utilizan esta herramienta. Por

ejemplo, Zhang et al. [17] presentan una propuesta de un método de posicionamiento basado en ondas milimétricas y aprendizaje profundo, el cual demuestra un rendimiento óptimo, eficiencia energética y una estimación precisa de errores.

De igual manera, el uso de aprendizaje automático es igual de efectivo. El desarrollo de cuatro modelos basados en aprendizaje automático para abordar las complejidades inherentes del despliegue de la red 5G, reducir sustancialmente el consumo de energía y mejorar el rendimiento de la red [13].

Por último, el uso de métodos Q-learning y Deep Reinforcement Learning (DRL) basados en aprendizaje por refuerzo para la optimización de los parámetros de traspaso en redes 5G UDN [24] (Ver figura 4).

operativa se ha alcanzado con herramientas de IA en la gestión de redes 5G?	de los parámetros de traspaso en redes 5G UDN se alcanzó un alto nivel de eficiencia para mejorar el rendimiento, [24].
---	---

De acuerdo con el análisis, la mayoría de los estudios revisados presentan resultados que logran un elevado nivel de optimización, especialmente con el uso de aprendizaje automático, ya que es la herramienta más empleada para mejorar diversos componentes o escenarios de aplicación de la tecnología 5G, permitiendo la habilitación de diferentes servicios.

De igual modo, varios estudios muestran el aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo como herramientas de mejora que mantienen el alto rendimiento y gestor eficiente de la 5G [15][16] (Ver figura 5).

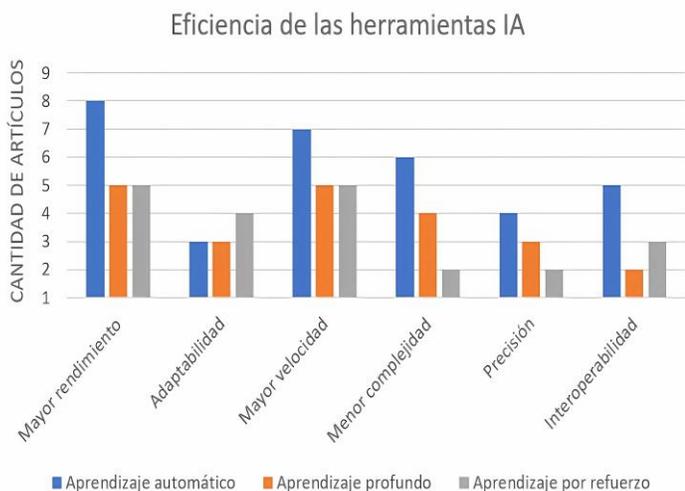


Fig. 4 Eficiencia de las herramientas IA más utilizadas

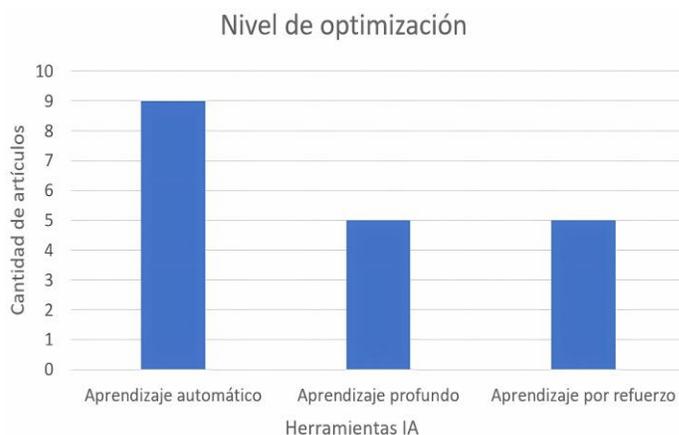


Fig. 5 Nivel de optimización de las herramientas IA más Utilizadas.

D. Nivel de optimización alcanzado (RQ4)

TABLA VIII
PREGUNTAS RELACIONADAS A LA RQ4

Subpreguntas	Contribuciones
RQ4.1 ¿Qué métricas específicas se utilizan para medir el nivel de optimización alcanzado mediante herramientas de IA en 5G?	Se emplean métrica de eficiencia, rendimiento, precisión, ganancia, complejidad, superioridad, consumo de energía [17].
RQ4.2 ¿Qué mejoras en la capacidad de la red se han logrado con la implementación de herramientas de IA en 5G?	Las herramientas de IA del 5G han mejorado la capacidad de la red al optimizar la asignación de recursos, reducir la latencia y mejorar el rendimiento general de la red [12].
RQ4.3 ¿Qué nivel de automatización y eficiencia	Mediante el uso del algoritmo DDPG para la optimización

IV. DISCUSIÓN

La implementación de la inteligencia artificial (IA) en la optimización de la tecnología 5G ha demostrado ser una estrategia efectiva y necesaria. En primer lugar, la tecnología 5G, con su alta velocidad, baja latencia y mayor capacidad de dispositivos conectados, es fundamental para soportar nuevas aplicaciones y servicios, como la realidad virtual y aumentada [10,11,17,18]. Los estudios revisados destacan que, gracias a la IA, se puede mejorar significativamente el rendimiento de las redes 5G, haciéndolas más eficientes y fiables.

Además, las herramientas de IA más utilizadas en la optimización de redes 5G son el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo [19-21]. Estas herramientas permiten una gestión autónoma de la infraestructura, optimizando el uso de recursos y mejorando la precisión en la detección de ataques [23, 25]. En particular, el aprendizaje profundo ha demostrado ser eficaz en la recopilación de datos precisos, lo que contribuye significativamente a la reducción de pérdidas y retrasos en la red [10].

En comparación con los métodos tradicionales, los enfoques basados en IA han mostrado ser más efectivos en la optimización de redes 5G [26]. Asimismo, la capacidad de la IA para detectar anomalías en el tráfico y gestionar de manera eficiente los recursos ha sido crucial [19]. Por ejemplo, técnicas como el aprendizaje por refuerzo han demostrado mejoras significativas en la eficiencia y optimización de la red, lo cual es vital para el desempeño de estas infraestructuras [17, 23].

Por otro lado, el nivel de optimización alcanzado mediante el uso de herramientas de IA es notable. Métricas como eficiencia, rendimiento, precisión y consumo de energía se han mejorado gracias a la IA. Los estudios indican que la IA ha optimizado la asignación de recursos y reducido la latencia, logrando un alto nivel de automatización y eficiencia operativa. Esto es especialmente importante en la gestión de redes complejas y de alta demanda [24].

En conclusión, la IA se ha convertido en una herramienta indispensable para maximizar el potencial de la tecnología 5G. Su capacidad para mejorar el rendimiento y la gestión de redes 5G subraya la necesidad de continuar investigando y desarrollando metodologías basadas en IA.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, la presente revisión sistemática demuestra que la IA, especialmente a través del aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, mejora significativamente la eficiencia y el rendimiento de las redes 5G. La capacidad de la IA para detectar anomalías y optimizar la asignación de recursos supera los métodos tradicionales, convirtiéndola en un componente crucial para maximizar el potencial de la tecnología 5G.

Además, la IA facilita la gestión autónoma de las redes, reduciendo la necesidad de intervención manual y permitiendo operaciones de red más adaptativas y receptivas. Esta capacidad es esencial para cumplir con las altas demandas de las aplicaciones 5G, como la baja latencia y la alta fiabilidad.

REFERENCES

[1] Z. Zhao, "Artificial Intelligence-Enabled 5G Network Performance Evaluation with Fine Granularity and High Accuracy", *IEEE Access*, vol. 12, pp. 36432-36446, February 2024.

[2] Dangana, M.Hussain, S.Sansari, S.Imran, A. Zoha, "A Digital Twin (DT) approach to Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) wireless communication optimization in an industrial scenario", *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 25, April 2024.H. Simpson, *Dumb Robots*, 3rd ed., Springfield: UOS Press, 2004, pp.6-9.

[3] S. Moazzeni et al, "5G-VIOS: Towards next generation intelligent inter-domain network service orchestration and resource optimisation," *Comput Netw*, vol. 241, pp. 110202, 2024.B. Simpson, et al, "Title of paper goes here if known," unpublished.

[4] Tagami, A.Miyasaka, T.Suzuki, M.Sasaki, C, "Integration of Network and Artificial Intelligence toward the Beyond 5G/6G Networks", *IEICE Transactions on Communications*, E106-B(12), pp. 1267-1274, December 2023.Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," *IEEE Translated J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [*Digest 9th Annual Conf. Magnetics Japan*, p. 301, 1982].

[5] S. Zhang, "An overview of network slicing for 5G," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 26, pp. 111-117, 2019.

[6] C.E. Toronto, Remington, R, *A Step-by-Step Guide To Conducting an Integrative Review*, Springer, Berlin, Germany, 2020.

[7] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T.C. Hoffmann, C.D. Mulrow et al, "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews", *BMJ*, vol. 74, pp.790-799, April 2021.

[8] A. Moubayed, D.M.Manias, A. Javadtalab, M. Hemmati, Y. You, A. Shami, "OTN-over-WDM optimization in 5G networks: key challenges and innovation opportunities", *Photonic Network Communications*, vol. 45, pp. 49-66, 2023.

[9] Y. Yang Y, Z. Yan, Y. Xiao, "Whole Scenario of 5G Communication Access in the Digital Transformation of Medium and Large Enterprises", *Mobile Information Systems*, vol. 2021, 2021.

[10]A. Toding, M. Resha M, A. Taliang, C.I. Rapa., R. Arunglabi, "5G Technology in Smart Healthcare and Smart City Development Integration with Deep Learning Architectures", *International Journal of Communication Networks and Information Security*, vol. 14, pp.99-109, 2022.

[11] S. Martiradonna, A. Grassi, G. Piro, G. Boggia, "Understanding the 5G-air-simulator: A tutorial on design criteria, technical components, and reference use cases", *Computer Networks*, vol. 177, 2020.

[12] F.S. Samidi, N.A. Mohamed Radzi, K.H. Mohd Azmi, N. Mohd Aripin, N.A. Azhar, "5G Technology: ML Hyperparameter Tuning Analysis for Subcarrier Spacing Prediction Model", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, pp.790-799, 2022. M.S.Abood, H. Wang, D. He, Z. Kang, A. Kawoya, "Intelligent Network Slicing in V2X Networks – A Comprehensive Review", *Journal of Artificial Intelligence and Technology*, vol. 3, pp.75-84, 2023.

[13] H.A.Mardan, S.K.Ahmed, "Using AI in wireless communication system for resource management and optimisation", *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, vol. 8, pp. 2068-2074, 2020. F.S. Samidi, N.A. Mohamed Radzi, K.H. Mohd Azmi, N. Mohd Aripin, N.A. Azhar, "5G Technology: ML Hyperparameter Tuning Analysis for Subcarrier Spacing Prediction Model", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, pp.790-799, 2022.

[14] K. Samdanis, A.N.Abbou, J. Song, T. Taleb, "AI/ML Service Enablers and Model Maintenance for Beyond 5G Networks", *IEEE Network*, vol. 37, pp.162-172, 2023.

[15] M.S.Abood, H. Wang, D. He, Z. Kang, A. Kawoya, "Intelligent Network Slicing in V2X Networks – A Comprehensive Review", *Journal of Artificial Intelligence and Technology*, vol. 3, pp.75-84, 2023.

[16] X. Wang, H. Yao, T. Mai, S. Guo, Y. Liu, "Reinforcement Learning-Based Particle Swarm Optimization for End-to-End Traffic Scheduling in TSN-5G Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 31, pp. 3254- 3268, 2023.

[17] C. Zhang, Y. Ueng, C. Studer, A. Burg, "Artificial Intelligence for 5G and beyond 5G: Implementations, Algorithms, and Optimizations", *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 10, pp. 149-153, 2020.

[18] T. Khan, A. Adholiya, "Energy Efficient Multi Hop D2D Communication Using Deep Reinforcement Learning in 5G Networks", *International Journal of Computer Networks and Applications*, vol. 10, pp. 401-421, 2023.

[19] A.R. Abdallah, A. Alshahrani, A. Muthanna, A. Koucheryavy, "Performance estimation in V2X networks using deep learning-based m-estimator loss functions in the presence of outliers", *Symmetry*, vol. 13, 2021.

[20] W. Sakurai, T. Ichimura, K. Fujita, L. Wijerathne, M. Hori, "Fast Data-Centric Optimization of Nonlinear Dynamic Flows on Network System Suited for Big-Data and Extreme Computing", *Journal of Advances in Information Technology*, vol. 13, pp. 186-191, 2022.

[21] J. Lie, Z. Yang, X. Wang, Y. Xia, S. Ni "Task offloading mechanism based on federated reinforcement learning in mobile edge computing", *Digital Communications and Networks*, vol. 9, pp. 492-504, 2023.

[22] A. Margaris A, I. Filippas, K. Tsagkaris, "Hybrid Network-Spatial Clustering for Optimizing 5G Mobile Networks", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, 2022.

- [23] M. Bhuvanewari, S.S.Priya S.S, R.A.Chakravarthy, “Fuzzy based clustering in CWPSN using machine learning model”, Indian Journal of Radio and Space Physics, vol. 50, pp. 90-94, 2021.
- [24] C.F.Kwong, C. Shi, Q. Liu, S. Yang, D. Chieng, P. Kar, “Autonomous handover parameter optimisation for 5G cellular networks using deep deterministic policy gradient”, Expert Systems with Applications, vol. 246, 2024.
- [25] M. Tomala, K. Staniec, “Modelling of ML-Enablers in 5G Radio Access Network-Conceptual Proposal of Computational Framework”, Electronics (Switzerland), vol. 12, 2023.
- [26] Chinedu Reginald Okpara, Victor E Idigo, Ogbonna P. Ngwu "Improving the Energy Efficiency of a 5G Network: The Machine Learning Approach", Iconic Research And Engineering Journals, vol. 6, pp. 142-145, 2023.
- [27] M. Maman, E. Calvanese-Strinati, L.N.Dinh, T. Haustein, W. Keusgen, S. Wittig, M. Schmieder, S. Barbarossa, M. Merluzzi, F. Costanzo, S. Sardellitti, H. Klessig, S.V.Kendre, D. Munaretto, M. Centenaro, N. di Pietro, S.-P.Liang, K.-Y.Chih, J.S.-J.Luo, L.-C.Kao, J.-C. Huang, J.-S.Huang, T.-Y.Wang, “Beyond private 5G networks: applications, architectures, operator models and technological enablers”, Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2021, 2021.